

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Marko Budimir
0035172216

Zagreb, 2013

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:
Prof.dr.sc. Damir Ciglar

Student:
Marko Budimir
0035172216

Zagreb, 2013

Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno, služeći se znanjem stečenim tijekom studija i koristeći navedenu literaturu.

Ovom prilikom bih želio zahvaliti:

Voditelju rada Prof. dr.sc. Damiru Ciglaru na stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade završnog rada.

Posebno bih želio zahvaliti svojoj obitelji na potpori i pomoći kako tijekom izrade ovog rada, tako i tijekom cijelog studija.

Također zahvaljujem svojim kolegama i prijateljima na potpori i pomoći tijekom svih ovih godina studiranja.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko Budimir**

Mat. br.: 0035172216

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

VIŠEOSNI GLODAĆI OBRADNI CENTRI

Naslov rada na
engleskom jeziku:

MULTI-AXIS MILLING MACHINING CENTERS

Opis zadatka:

Glodači obradni centri su samostojeći visokoautomatizirani numerički upravljani alatni strojevi kojima je dodana automatska izmjena alata i spremište reznog alata. Svrstavaju se u višeoperacijske alatne strojeve jer ih karakterizira koncentracija različitih operacija u jednom stezanju sirovca. Osim glavnog rotacijskog gibanja reznog alata, u početku razvoja su imali i samo tri pravocrtna posmična gibanja u osima X, Y, Z, odnosno, imali su troosno simultano upravljanje.

U radu je potrebno dati karakteristike troosnih i višeosnih glodačkih obradnih centara i područja njihove primjene. Također je potrebno dati literaturni pregled višeosnih glodačkih obradnih centara proizvedenih od vodećih svjetskih proizvođača.

Zadatak zadan:

16. studenog 2012.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Ciglar

Rok predaje rada:

1. rok: 15. veljače 2013.

2. rok: 11. srpnja 2013.

3. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.

2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.

3. rok: 18., 19., i 20. rujna 2013.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	III
POPIS SLIKA.....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1.UVOD.....	1
2.POVIJEST OD GLODALICE DO VIŠEOOSNOG OBRADNOG CENTRA.....	5
3.VIŠEOSNI GLODAČI OBRADNI CENTRI.....	10
3.1Prednosti višeosne obrade.....	12
4.VRSTE GLODAČIH OBRADNIH CENTARA.....	14
4.1Horizontalni glodači obradni centri.....	14
4.2Vertikalni glodači obradni centri.....	16
4.3Višeosni glodači obradni centri.....	18
4.3.1Četveroosni glodači obradni centri.....	18
4.3.2Peteroosni obradni centri.....	19
4.3.3Višeosni obradni centri sa šest i više osi.....	35
5.UPRAVLJAČKE JEDINKE.....	38
6.POSTPROCESOR.....	39
6.1Post procesor u primjeni.....	61
7.ZAKLJUČAK.....	65
8.LITERATURA.....	66

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz orijentacije translacijskih X,Y,Z osi kod vertikalnog glodaćeg alatnog stroja[1].....	2
Slika 2. Prikaz orijentacije X,Y,Z pravocrtnih osi kod horizontalnog glodaćeg alatnog stroja[2]	2
Slika 3. Prikaz orijentacijskih X,Y,Z i rotacijskih A,B,C osi [3].....	3
Slika 4. Usporedan prikaz pridruženih osi kod troosnog (XY stol) i kod višeoosnog glodaćeg alatnog stroja (nagibni stol)[4].....	4
Slika 5. Tipičan univerzalan glodaći alatni stroj s početka 20.st.[5].....	7
Slika 6. Modul okretno nagibni stol tvrtke Haas[6].....	11
Slika 7. Višeosna obrada turbine na vertikalnom glodaćem obradnom centru [8].....	13
Slika 8. Hurco HMX400 [9].....	14
Slika 9. Haas ES5-4T HMC [6].....	15
Slika 10. Deckel Maho DMC635V [10].....	16
Slika 11. Haas VF 5 VMC [6].....	17
Slika 12. Makino a61nx [11].....	18
Slika 13. Obrada impelera na izvedbi s okretnim stolom i nagibnom glavom vretena [8].....	20
Slika 14. Hurco VMX42SR [9].....	21
Slika 15. Deckel Maho DMU 125 FD duoblock [10].....	22
Slika 16. RemaControl Newton Big T5 [5].....	23
Slika 17. Obrada impelera na stolu peteroosnog glodaćeg obradnog centra s A i C okretno nagibnim stolom[8].....	24
Slika 18. Okuma MU-500V [14].....	25
Slika 19. Spinner VC560 [20].....	26
Slika 20. Feeler B-800 5AX [20].....	27
Slika 21. Višeosna obrada na BC okretno nagibnom stolu [10].....	29
Slika 22. Deckel Maho DMU 50V [10].....	29
Slika 23. Iyoti K2X 8 [20].....	30
Slika 24. Moguće rotacije glave vretena obradnog centra MAG NBH 630 5X prilikom obrade kućišta elektromotora [13].....	32
Slika 25. MAG NBH 630 5X [13].....	33
Slika 26. Belotti FLA 4018 [20].....	34
Slika 27. EMMEDUE Galaxy [20].....	34
Slika 28. Obrada na šesteroosnom obradnom centru i Makino MXX2013VG [11].....	35
Slika 29. Fidia KR199 [20].....	36
Slika 30. Ilustracija programiranja [18].....	40
Slika 31. Deckel Maho DMU 50V.....	41
Slika 32. Ilustracija toka programiranja [19].....	42
Slika 33. Početni prozor Post builder aplikacije [19].....	43
Slika 34. Prozor za odabir vrste alatnog stroja i upravljanja [19].....	44
Slika 35. Prozor za definiranje osnovnih parametara alatnog stroja [19].....	46
Slika 36. Prozor za određivanje parametara rotacijskih osi [19].....	49
Slika 37. Prozor za podešavanje smjera rotacija osi[19].....	52
Slika 38. Prozor za određivanje smjera rotacije četvrte osi [19].....	52
Slika 39. Prikaz kinematike DMU50V [16].....	53
Slika 40. Prozor s karticom za definiranje programa i putanje alata [19].....	54

Slika 41. Prozor s karticom za podešavanje programa prema upravljanju alatnog stroja [19].....	55
Slika 42. Prozor za definiranje gibanja alata [19].....	57
Slika 43. Prozor s definiranim ciklusi[19].....	58
Slika 44. Prozor za definiranje funkcija na kraju programa [19].....	59
Slika 45. Prozor za definiranje virtualnog NC kontrolera [19].....	60
Slika 46. Slika ekrana sa simulacijom obrade u Siemens NX 8 CAD/CAM softveru	61
Slika 47. Slika s detaljnijmi prikazom simulacije glodanja džepa na obratku.....	62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Popis varijanti zapisa izlaznih podataka.....	48
--	----

SAŽETAK

Glodači obradni centri su samostojeći visokoautomatizirani numerički upravljani alatni strojevi kojima je dodana automatska izmjena alata i spremište reznog alata. Svrstavaju se u višeoperacijske alatne strojeve jer ih karakterizira koncentracija različitih operacija u jednom stezanju sirovca. Osim glavnog rotacijskog gibanja reznog alata, u početku razvoja su imali samo tri pravocrtna posmična gibanja u osima X, Y, Z, odnosno imali su troosno simultano upravljanje.

Dodavanjem dodatnih rotacijskih osi nastali su višeosni glodači obradni centri. Njihova pojava dovela je do veće fleksibilnosti proizvodnih sustava, preciznije i brže obrade, te naglog razvoja CAD/CAM softvera.

U radu je isprogramiran i objašnjen postprocesor za peteroosan alatni stroj te obrađen tijek razvoja višeosnih glodačkih obradnih centara, karakteristike troosnih i višeosnih glodačkih obradnih centara i područja njihove primjene.

Ključne riječi : višeosni glodači obradni centar, fleksibilni obradni sustavi, numeričko upravljanje, višeosni postprocesor.

SUMMARY

Milling machining centers are highly automated standalone numerically controlled tooling machines with the addition of automatic tool change and storage. Milling machining centers are put into a multioperational tooling machines because they are characterized by the concentration of different operations in a single clamping metal stock. In addition to the main rotational motion of the cutting tool, in the beginning they had only three rectilinear sliding movement of the axes X, Y, Z, and had triaxial simultaneous control.

Adding additional axes multiple axis milling machining centers were created. Their appearance has led to greater flexibility of production systems, more accurate and faster processing, and rapid development of CAD / CAM software.

The work has a programmed and explained postprocessor for five axis tooling machine and processed the development of multi-axis milling machining centers, features triaxial and multi-axis machining centers and their areas of application.

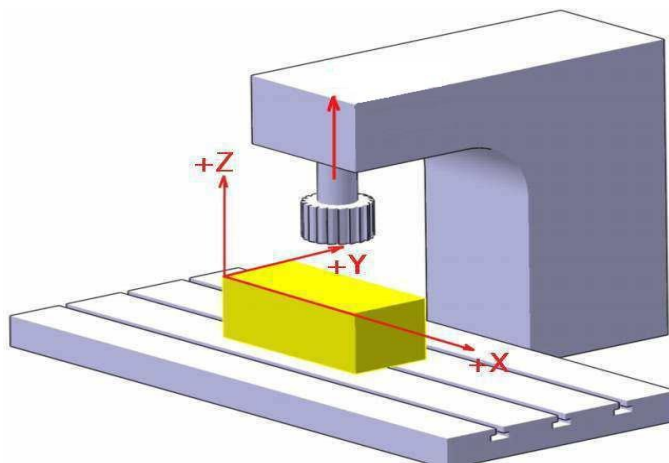
Key words : multi-axis milling machining center, flexible machining center, numerical control, multi-axis postprocessor.

1. UVOD

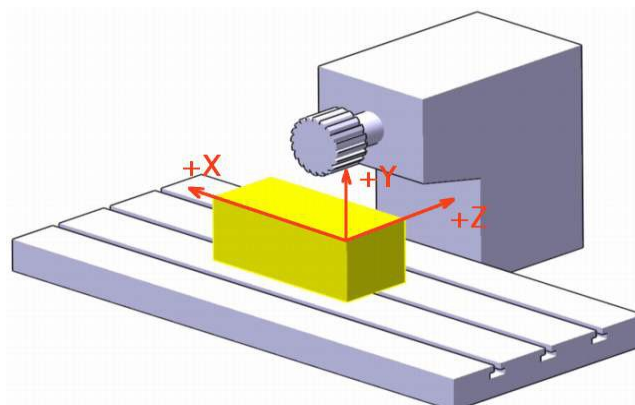
Glodači obradni centar je numerički upravljani alatni stroj kojemu je dodana automatska izmjena alata, te u automatskom ciklusu i jednom stezanju obrađuje sve slobodne površine obratka. Namijenjen je za obradu prizmatičnih obradaka prvenstveno glodanjem, a moguće je bušenje i brušenje. Obradnom centru osim obavezne automatske izmjene alata može biti dodana i automatska izmjena pribora. Ovisno o opremljenosti, glodači obradni centar može raditi djelomično bez nazočnosti operatera, osobito ako mu je pridodano spremište paleta, prema literaturi [1].

Složene operacije obrade omogućuje automatska izmjena alata i pribora. Izmjena alata ne ovisi o volji poslužitelja i traje od dvije do pet sekundi. Spremište alata može biti iznad alatnog stroja, sa strane jednostrano ili obostrano, te pored alatnog stroja. To su tzv. lančana spremišta kojih može biti i više, s ukupno od 30 do 180 mjesta za alate.

Glodači alatni strojevi odnosno glodači obradni centri koriste tri translacijske osi X,Y,Z čija orijentacija u prostoru ovisi o položaju glave glavnog vretena. Zbog toga razlikujemo dvije glavne skupine glodaćih alatnih strojeva, vertikalni, slika 1, i horizontalni, slika 2, glodači alatni stroj. Os Z je uvijek orijentirana u smjeru glave glavnog vretena.

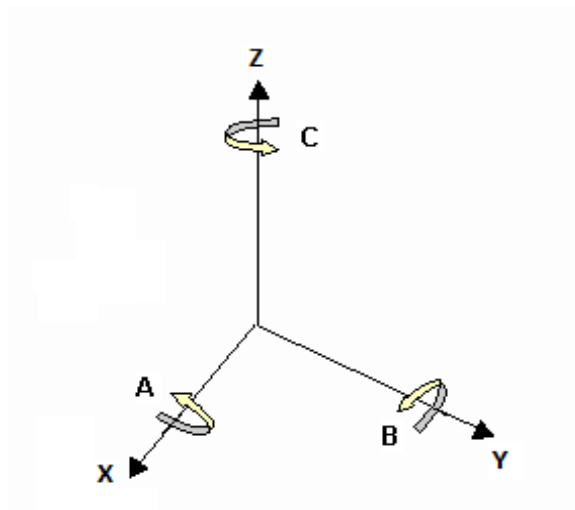


Slika 1. Prikaz orijentacije translacijskih X,Y,Z osi kod vertikalnog glodaćeg alatnog stroja[1]



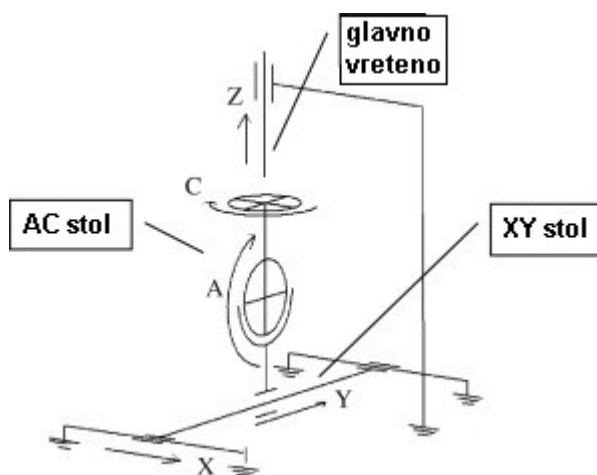
Slika 2. Prikaz orijentacije X,Y,Z pravocrtnih osi kod horizontalnog glodaćeg alatnog stroja[2]

Te tri translacijske osi mogu biti pridružene stolu, glavnom vretenu ili npr. njihovom kombinacijom na način da je Z os pridružena glavnom vretenu, a X i Y os stolu alatnog stroja, slika 4. Dodavanjem dodatnih rotacijskih osi A, B i C dobivamo višeosan alatni stroj. Najčešći višeosni glodači obradni centri su petereosni alatni strojevi koji uz tri pravocrtnne osi X,Y,Z, te jednom nagibnom osi B ili A i okretnom osi C. Na taj način moguće je obrađivati veoma složene obratke, kao što su impeleri i propeleri. Matematički gledano rotacijska os A je rotacija oko pravocrtnne osi X, rotacijska os B je rotacija oko osi Y, dok je orijentacijska os C rotacija oko pravocrtnne osi Z, slika 3.



Slika 3. Prikaz orijentacijskih X,Y,Z i rotacijskih A,B,C osi [3]

Dodatne rotacijske osi mogu biti ostvarene na stolu alatnog stroja, slika 4, ili na glavnom vretenu, što je u nekim slučajevima povoljnije, kao što je bušenje kosih provrta[1].



Slika 4. Usporedan prikaz pridruženih osi kod troosnog (XY stol) i kod višeoosnog glodaćeg alatnog stroja (nagibni stol)[4]

2. POVIJEST OD GLODALICE DO VIŠEOOSNOG OBRADNOG CENTRA

1810-1830

Glodalica kao zasebna klasa alatnog stroja se prvi put pojavljuje između 1814 i 1818. godine zaslugom Elia Whitneya (jedan od privatnih proizvođača oružja) proizvodnjom prve prave glodalice. Kraj dvadesetih godina u 19. stoljeću bila su ključna vremena u povijesti alatnih strojeva, kao što je u razdoblju od 1814. do 1818. tijekom kojega je nekoliko tadašnjih pionira (Fox, Murray, i Roberts) razvijalo planere, te kao i s glodaćim alatnim strojevima, rad se obavlja u raznim radionicama koji nije dokumentiran zbog različitih razloga. U tim ranim godinama, glodanje je često smatrano samo kao gruba obrada nakon koje slijedi ručna završna obrada. Ideja o smanjenju ručne obrade bila je važnija od same zamjene

1840-1860

Tijekom ovog razdoblja došlo je do nastanka slijepih ulica u dizajnu glodaćih alatnih strojeva, pošto različiti dizajneri nisu uspijevali razviti doista jednostavan i učinkovit način pružanja kliznog gibanja u sve tri karakteristične glodačke osi (X, Y i Z-ili kao što su bili poznat u prošlosti, uzdužna, poprečna, i okomita). Ideje vertikalnog pozicioniranja su bile odsutne ili nedovoljno razvijene. Vreteno Lincoln Millera moglo je biti podignuto i spuštено, ali izvorna ideja iza takvog pozicioniranja je kako se postaviti u poziciju i onda pokrenuti, za razliku od čestog premještanja tijekom rada. Kao i kod stezne glave tokarilica, radilo se o alatnom stroju ponavljajuće masovne proizvodnje, sa svakim vješt看 stezanjem slijedi prilično niska vještina rada.

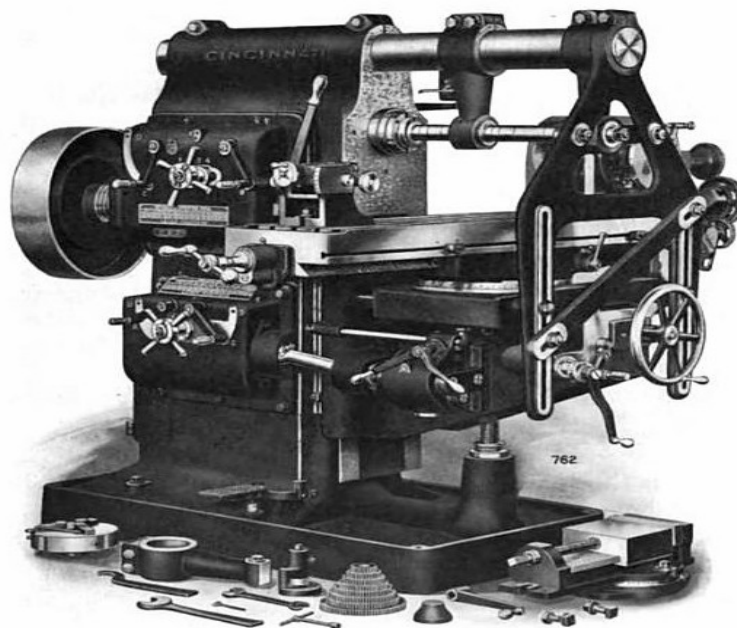
1860

Joseph R. Brown je dizajnirao "univerzalnu glodalicu" koja je, počevši od prve prodaje u ožujku 1862, bila veoma uspješna. On je riješio problem troosnog gibanja (tj. osi koje mi danas nazivamo X,Y,Z) mnogo jednostavnije nego što je to učinjeno u

prošlosti. To je omogućilo glodanje spirale uporabom indeksiranjem glave upareno u koordinaciji sa posmičnom brzinom stola. Pojam "univerzalno" se može primjeniti na njegov alatni stroj jer je bio spreman za bilo kakav rad, uključujući za rad u alatnicama, a nije bio ograničen u primjeni kao glodalice prethodnih dizajna. Brown je također razvio i patentirao (1864) dizajn formiranih glodala u kojem uzastopna oštrenja zubi ne ometaju geometriji oblika. Napredak 1860-ih otvorio je mogućnosti za napredak i najavu modernih glodaćih alatnih strojeva.

1870 do Prvog svjetskog rata

U tim su desetljećima na stotine manjih firmi razvijale vlastite varijante glodaćih alatnih strojeva, i mnogi dizajni su karakteristični na svoje načine. Osim raznih specijaliziranih proizvodnih alatnih strojeva, višenamjenski glodaći alatni strojevi od kraja 19. i početka 20. stoljeća imali su težak stupni dizajn horizontale glave glavnog vretena sa pokretanim stolom te indeksirane glave. Evolucija dizajna alatnih strojeva bio je potaknut ne samo od strane inovativnog duha, ali i stalnim razvojem glodala kojim je potaknuta prekretnica za prekretnicom od 1860. do Prvog svjetskog rata.



Slika 5. Tipičan univerzalan glodači alatni stroj s početka 20.st.[5]

Prvi svjetski rat i razdoblje između dva svjetska rata

Oko kraja I. svjetskog rata, upravljanje alatnih strojeva napredovalo je na razne načine i time su postavljeni temelji za kasnije CNC tehnologije. Matrično bušenje je populariziralo ideje o koordinatnom dimenzioniranju (dimenzioniranje svih koordinata na dijelu od jedne referentne točke); rutinski rad u "desetinkama" kao svakodnevna sposobnost alatnog stroja, a pomoću upravljanja ići ravno iz crteža na obratke, zaobilazeći izradu šablona. Godine 1920 novi dizajn kopiranja J.C Shawa je primijenjen na Keller kopirajućim glodalicama za dubljenje kalupa putem trodimenzionalnog kopirnog predloška. To je ubrzalo i olakšalo dubljenje kalupa upravo kada je potražnja za kalupima bila viša nego ikada prije, i bilo je vrlo korisno za velike čelične kalupe kao što su oni koji se koriste za deformiranje limova u proizvodnji automobila. Takvi alatni strojevi su pratili pokrete šablone za kopiranje kao ulaz za servomotore koji su pokretali dvovojne matice ili hidrauliku. Sve gore navedeni pojmovi su bili novi 1920-e, ali su postali rutina u NC/CNC eri. Do 1930-ih, postojale su nevjerojatno velike i napredne glodalice, kao što su Cincinnati Hydro-

Tel, koji nagovještaju današnje CNC glodaće alatne strojeve u svakom pogledu, osim za samo CNC upravljanje.

1940-1970

Do 1940, automatizacija, kao što je automatska stezna glava, bila je poprilično dobro razvijena već nekoliko desetljeća. Početkom 1930-ih godina, bila je aktualna ideja o servomehanizmima, ali to je počelo napredovati tijekom i neposredno nakon Drugog svjetskog. To je ubrzo ukombinirano s nastajanjem tehnologije digitalnih računala. Ta sredina tehnološkog razvoja, u vremenu od neposredno prije Drugoga svjetskog rata te ulaskom u 1950-e, je pokretana vojnim kapitalnim izdatacima koji su težili usmjeravanju suvremenog napredatka oružja, raketa i topništva, te raketnog navođenja, druge primjene u kojima su ljudi željeli kontrolirati kinematiku odnosno dinamiku velikih alatnih strojeva brzo, precizno i automatski. Dovoljna potrošnja vojne industrije vjerojatno se ne bi dogodila u samoj industriji alatnih strojeva, ali je volja i mogućnost potrošnje omogućila kasniju primjenu. Godine 1952, numeričko upravljanje doseglo je razvojnu fazu laboratorijske stvarnosti. Prvi NC alatni stroj bio je glodači alatni stroj Cincinnati Hydrotel nadograđen s novo napravljenom NC upravljačkom jedinkom. Taj alatni stroj je bio napravljen u Scientific Americanu i bio je revolucionaran kao još jedan revolucionaran glodači alatni stroj Brown & Sharpe univerzalan glodači alatni stroj, iz 1862. Tijekom 1950-ih, numeričko upravljanje polako izlazi iz laboratorija u komercijalnu uporabu. Tijekom svog prvog desetljeća, imalo je prilično ograničen utjecaj izvan zrakoplovne industrije. No, tijekom 1960-ih i 1970-ih, NC je evoluirao u CNC, kao i pohrana podataka i ulazni mediji, te računalna obrada napajanja i kapacitet memorije koji se stalno povećavao. NC i CNC alatni strojevi postupno su se proširivali iz okruženja velikih korporacija i uglavnom zrakoplovne industrije prema razini srednjih poduzeća i širokoj paleti proizvoda. Drastičan napredak NC i CNC kontrole alatnog stroja je duboko preobrazio način proizvodnje.

1980 do danas

Računala i CNC alatni strojevi i dalje se ubrzano razvijaju. Revolucija osobnog računala ima veliki utjecaj na taj razvoj. Do kasnih 1980-ih radionice s malim alatnim strojevima imala su stolna računala i CNC alatne strojeve. Što je između ostalog omogućilo pojavu CNC glodanja kao hobija.

Pojava glodaćih obradnih centara

Od 1960-ih došlo je do razvojnog preklapanja korištenja izraza između glodaćeg alatnog stroja i obradnog centra. NC / CNC obradni centri proistekli su iz glodaćih alatnih strojeva, što je i razlog zašto se terminologija razvila postepeno s preklapanjem značenja koja još uvijek traju. Razlika je u tome što je glodači obradni centar, glodači alatni stroj sa značajkama koje glodači alatni strojevi nisu imali prije CNC-a, kao što su automatska izmjena alata (AIA) koji uključuje spremište alata (karusel). U principu, svi obradni centri su glodači alatni strojevi, ali nisu i svi glodači alatni strojevi obradni centri, samo glodači alatni strojevi s AIA su obradni centri. Većina glodaćih obradnih centara (također se nazivaju obradni centri) su računalni kontrolirani vertikalni glodači alatni strojevi s mogućnošću gibanja glave glavnog vretena vertikalno duž Z-osi. Ovaj dodatni stupanj slobode dopušta njihovo korištenje u obradi kalupa, graviranju i 2.5D površinama, kao što su reljefne skulpture. U kombinaciji s korištenjem konusnih alata ili kuglastih glodala, to također značajno poboljšava preciznost glodanja bez utjecaja na brzinu, pruža troškovno učinkovitu alternativu većini rukom graviranih poslova obrade ravnih površina. Najnapredniji obradni centri, višeosni alatni strojevi, dodaju još dvije osi uz tri normalne osi (XYZ). Četvrta (C) os omogućuje rotaciju horizontalno stegnutih obratka, dok peta (koja nosi oznaku B ili A) os kontrolira nagib samog alata. Kada se sve ove osi koriste u kombinaciji jedne s drugim, iznimno složene geometrije, čak i organski stvorene geometrije poput ljudske glave mogu se proizvesti s relativnom lakoćom na tim alatnim strojevima. Stoga, peterosni glodači obradni centri su gotovo uvijek programirani pomoću CAM-a. Uz pad cijene računala i open source softwarea CNC-a, početna cijena CNC alatnih strojeva je drastično pala, prema literaturi [5].

3. VIŠEOSNI GLODAČI OBRADNI CENTRI

Tehnologija i oprema za obavljanje višeosne obrade dostupna je već neko vrijeme. Metode koje se koriste kako bi se postigla simultana višeosna gibanja u industrijama kao što su zrakoplovna, proizvodnja energije, nafte i plina, medicini, drvenoj industriji i izradi kalupa su slične, ali svaka industrija ima specifične zahtjeve i potrebe koje određuju kako određeni proizvođač ispunjavanja zatraženi posao.

Trenutno postoji više od 15 originalnih proizvođača opreme peteroosnih glodačkih obradnih centara prodanih u SAD-u. Većina tih glodačkih obradnih centara su veliki, snažni, precizni i skupi alatni strojevi s cijenama u rasponu od 500.000 dolara do više od 1,5 milijuna dolara. Najjeftiniji peteroosni obradni centri na tržištu danas imaju početnu cijenu od oko 250.000 dolara, prema literaturi [5].

Glavni nedostatak peteroosnih alatnih strojeva je njihov raspon pokreta, koji je općenito ograničen na ± 30 stupnjeva. Obratci koji zahtijevaju strmiji kut reza potrebno je ručno premjestiti i izvršiti novo stezanje. Također, ovi alatni strojevi su nešto manje kruti od troosnih alatnih strojeva iste veličine i klase. U posljednjih nekoliko godina, mnoge tvrtke su počele u ponudu stavljati peteroosne obradne centre koji imaju okretno nagibni stol koji je integriran u stolu alatnog stroja. Često se radi samo o rotacijskom stolu dok je vreteno zaduženo za mogućnost nagiba. Unatoč ograničenjima u veličini i težini, ti hibridni alatni strojevi su također vrlo skupi.

Nekoliko proizvođača proizvodi okretno nagibni stol koji se može montirati na postolje (troosnog) CNC alatnog stroja, slika 6. Jednostavni okretni stolovi su dostupni dugi niz godina, a koriste se intenzivno od strane malih i velikih radionica diljem svijeta za pozicioniranje obradaka kod raznih strojnih operacija.



Slika 6. Modul okretno nagibni stol tvrtke Haas[6]

Okretno nagibni stol može rotirati i nagnjati obradak pod raznim kutevima i time pružiti pristup obradi mnogim stranama obratka, što je rezultiralo pravom peteroosnom obradom. Relativno mala radna površina okretno nagibnog stola uzrokuje značajna ograničenja koja ovise o vrsti izratka koja se može stegnuti, uključujući ograničenja duljine, širine, visine i težine. Osim toga, okretno nagibni stolovi su sami po sebi vrlo veliki i zauzimaju mnogo radnog prostora alatnog stroja. Čak i najveći okretno nagibni stolovi mogu smanjiti radnu površinu alatnog stroja za više od 75 posto, prema literaturi [7].

Okretno nagibni stolovi nisu prikladni za stezanje obratka tijekom teških operacija rezanja, a dijelovi duži od 30 cm mogu početi udarati po okolnim površinama. Iako je okretno nagibni stol atraktivno rješenje za obradu manjih dijelova, današnji kupci zahtijevaju fleksibilnost i široku paletu mogućnosti. Ako je ovo jedina peteroosna alternativa, radionica će morati odbijati poslove koji prelaze ograničenja njihove veličine i težine.

Taj je problem otklonjen dodatcima na glavi vretena. Glavna prednost dodataka na glavi vretena je da se može pristupiti svim točkama radnog prostora obradnog centra. Glava ne stvara nikakvo ograničenje na veličinu izratka koja se može strojno obrađivati. Danas, postoji nekoliko američkih, talijanskih i njemačkih tvrtki koje proizvode i prodaju programibilne glave vretena za pričvršćivanje na velike troosne glodače obradne centre. Ako su pravilno postavljene, te glave su prilično

pouzdana, točne ali i skupe. Zbog njihove veličine i težine ne mogu se montirati na bilo koji mali ili srednji glodači obradni centar i rezervirane su samo za najveće portalne tipove glodačkih alatnih strojeva. Instalacija je trajna i zahtijeva prilagođenu izradu i montiranje. Raspon cijene za dodatke na glavu vretena kreće se od 175.000 do 300.000 dolara plus troškovi izrade i montaže [7]

3.1 Prednosti višeosne obrade

Glavna prednost višeosne obrade je sposobnost obrade složenih oblika u jednom stezanju. Time se dobiva veća produktivnost obrade u odnosu na obavljanje operacija u nizu stezanja, kao i značajno smanjenje vremena i troškova same pripreme. Nadalje, s više stezanja, tu je uvijek mogućnost nepravilnog poravnavanja nakon svakog premještanja, odnosno ponovnog stezanja, prema literaturi [8].

Još jedna važna prednost višeosne obrade je u tome što omogućuje korištenje kraćih reznih alata, jer se glava može spustiti bliže mjestu obrade, a alat orijentirati prema površini. Kao rezultat toga, mogu se postići veće brzine rezanja bez prekomjernog opterećenja na alat, na taj način raste vijek trajanja, dok se smanjuju lomovi alata. Korištenje kraćih alata također smanjuje vibracije koje se mogu stvarati prilikom obrade duboke jezgre ili šupljina pomoću troosnih alatnih strojeva. To omogućava kvalitetniju obradu površine, tako da smanjenje, ili čak i uklanjanje, potreba za ručnom doradom. Još jedna korist upotrebe višeosne obrade je mogućnost obrade iznimno složenih dijelova iz sirovca koji bi inače morali biti lijevani. Za prototipove i male serije proizvoda, ovaj pristup je puno brži i jeftiniji. Na taj način se može doći do vremenskog tijeka proizvodnje od jednog ili dva tjedna, umjesto dva mjeseca ili više koliko je potrebno za lijevanje odljevaka.

Višeosna strojna obrada može dati i ogromne uštede vremena prilikom bušenja provrta. Dok se ovo može činiti trivijalnim u usporedbi s teškoćama strojne obrade kompleksne jezgre ili šupljine, bušenje niza provrta na različitim složenim kutevima je vrlo dugotrajan proces. Prilikom korištenja troosnog alatnog stroja, drugačije stezanje obratka mora se koristiti za svaki provrt. Uz višeosni alatni stroj,

glava automatski može biti orijentirana uz pravilne osi za svaki provrt, čime bušenje može biti dovršeno puno brže, prema literaturi [8]



Slika 7. Višeosna obrada turbine na vertikalnom glodačem obradnom centru [8]

4. VRSTE GLODAČIH OBRADNIH CENTARA

Podjela modernih glodačkih obradnih centara može se izvršiti s obzirom na broj osi kojima alatni stroj raspolaže, dakle govorimo o troosnim i višeosnim glodačim obradnim centrima. Troosni glodači obradni centri mogu biti horizontalni i vertikalni, dok višeosni glodači obradni centri mogu biti četveroosni, peteroosni, šesteroosni itd.

4.1 Horizontalni glodači obradni centri

Horizontalan glodači obradni centar (HOC) je glodači obradni centar sa vretenom postavljenim u vodoravnom položaju. Takva izvedba glodačkog obradnog centra omogućava neprekinutu proizvodnju. Jedan od razloga je što horizontalna orijentacija omogućava da odvojene čestice padaju dalje od obratka, tako da ne moraju biti uklonjene sa stola. Još značajnije, horizontalna izvedba omogućuje ugradnju dviju paleta za automatsku izmjenu obratka u radnom prostoru alatnog stroja. Da bi se uštedjelo vrijeme, priprema sirovca se vrši na prvoj paleti, dok se strojna obrada vrši na drugoj paleti.

Primjer horizontalnog glodačkog obradnog centra je Hurco HMX400, slika8.



Slika 8. Hurco HMX400 [9]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 620x560x660 mm

maximalna opterećenje stola – 400 kg

maksimalna snaga vretena – 14 kW

kapacitet spremišta alata – 60

najveća posmična brzina – 15,2 m/min

maksimalan brzi hod – 40 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 2879x4104x5104 mm

masa stroja – 12 000 kg [9]

Proizvođač Haas u svojoj ponudi nudi ES-5-4THMC, slika 9.



Slika 9. Haas ES5-4T HMC [6]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 1016x457x559 mm

najveće opterećenje stola – 284 kg

najveća snaga vretena – 14.9 kW

najveći okretaju vretena – 12 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 24

najveća posmična brzina – 12.7 m/min

najveći brzi hod – 25 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 2388x3937x3810 mm

masa stroja – 6 300 kg [6]

4.2 Vertikalni glodači obradni centri

Vertikalni glodači obradni centar (VOC) je glodači obradni centar s glavnim vretenom okomite orijentacije. Moderni vertikalni glodači obradni centri su alatni strojevi visoke preciznosti koji se često koriste za glodanje malih tolerancija, kao što su fina obrada kalupa. Jeftiniji vertikalni obradni centri su najosnovniji CNC alatni strojevi, i često su prvi alatni stroj koji nova radionica želi kupiti.

Primjer vertikalnog glodačkog obradnog centra je Deckel Maho DMC635V, slika 10.



Slika 10. Deckel Maho DMC635V [10]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 635x500x460 mm

maximalna opterećenje stola – 600 kg

maksimalna snaga vretena – 12.8 kW

maksimalan broj okretaja vretena – 10 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 20

najveća posmična brzina – 20 m/min

maksimalan brzi hod – 30 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 2660x2727x2440 mm

masa stroja – 8 500 kg

upravljanja – Siemens 840D, Heidenhain iTNC 530 ili Fanuc 32i [10]

Tvrtka Haas u ponudi ima VF 5 VMC ,slika 11.



Slika 11. Haas VF 5 VMC [6]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 1270x660x660 mm

maximalna opterećenje stola – 1814 kg

maksimalna snaga vretena – 22.8 kW

maksimalan broj okretaja vretena – 7 500 1/min

kapacitet spremišta alata – 30

najveća posmična brzina – 12.7 m/min

maksimalan brzi hod – 18 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 2816x4014x2413 mm

masa stroja – 7 303 kg

4.3 Višeosni glodači obradni centri

Višeosni obradni centri najčešće imaju pet glavnih osi, uz X,Y,Z pravocrtne osi tu su i dvije rotacijske B i C osi. Naravno postoje i izvedbe od četiri, šest, sedam, te čak devet osi, no međutim s obzirom da današnji najmoderniji CAD/CAM sustavi (kao što su Catia, Siemens NX, Pro/E) imaju mogućnost programiranja najviše pet osi gibanja, samo ću spomenuti nekoliko primjera takvih naprednijih višeosnih glodačkih obradnih centara.

4.3.1 Četveroosni glodači obradni centri

Četveroosni glodači obradni centar može također biti vertikalni ili horizontalni ovisno o orijentaciji glavnog vretena. Dodatna četvrta rotacijska(C) os obično je pridružena stolu koji ima mogućnost rotacije, dok su glavne pravocrtne osi (X,Y,Z) pridružene vretenu.

Primjer četveroosnog glodačkog obradnog centra su Makino a61nx, slika 12.



Slika 12. Makino a61nx [11]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 730x650x800 mm

maximalna opterećenje stola – 500 kg

maksimalna snaga vretena – nije navedeno

maksimalan broj okretaja vretena – 14 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 60

najveća posmična brzina – 40 m/min

maksimalan brzi hod – 60 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 2660x2727x2440 mm [11]

4.3.2 Peteroosni obradni centri

Kod vertikalnog i horizontalnog glodanja, dodane su dvije dodatne osi uz postojeće X, Y i Z osi. Te dvije osi su rotacijske osi koje rotiraju oko osi Z (ta rotacijska os nosi oznaku C) i nagibna os koja rotira oko X ili Y osi. Te rotacijske osi nose oznake A odnosno B, ovisno o izvedbi alatnog stroja. Upravo zato postoje četiri izvedbe peteroosnih glodačkih obradnih centara. Vodeći proizvođači peteroosnih strojeva su Deckel Maho, Okuma, Hurco, Makino i MAG.

Izvedba s okretnim stolom i nagibnom glavom vretena

Poput horizontalnih glodačkih obradnih centara, ovakva izvedba sadrži stol koji ima mogućnost rotacije od 360 stupnjeva B-osi stola ispod obratka. Takav stol se ne može samo pozicionirati, također se preko rotacije može vršiti posmično gibanje kako bi obradak bio u zahvatu alata. Takav alatni stroj uparuje okretni stol sa zakretanjem A osi koji vrši posmično gibanje glave vretena od 90 stupnjeva iznad i do 90 stupnjeva ispod horizontale. Glodači obradni centar u prilogu ima radni prostor promjera 127 cm do visine od približno 120 cm, slika 13.

Idealan obradak za takav alatni stroj je cilindar s provrtima oko njegovih rubova, osobito nakošene provrte. Jedan primjer je kućište turbine. Na izratku kao što je ova, isti provrt pojavljuje se raznim koordinatama uokolo kućišta. U takvom slučaju, alatni stroj s ovim dizajnom može se pozicionirati iz jednog provrta do sljedeće s pomicanjem (odnosno rotacijom) u samo jednoj osi. Bilo koja druga vrsta

peterosnog glodaćeg obradnog alatnog stroja će se kretati iz jednog radijalnog provrta u drugi na cilindričnom dijelu pomoću gibanja u najmanje dvije osi, možda i više. No, na alatnom stroju s okretnim stolom i pomičnom glavom, alat se samo naginje na ispravan kut za obradu provrta, a glava samo mora biti smještena u X, Y i Z koordinatama u tom trenutku. Bušenje niza provrta tada postaje stvar posmične brzine, uvlačenja i pozicioniranja samo B osi kako bi se izvršilo pozicioniranje za sljedeći provrt. Rezultat toga je ponovljiviji proces, prema literaturi [5].

Sljedeća prednost ovog alatnog stroja odnosi se na veličine obradaka. Što manje rotacijskih osi pomiče obradak (za razliku od alata), obradni alatni stroj može primiti veće dijelove. Takav višeosan glodači obradni centar može okretati radni komad pomoću B osi, tako da je zakretanje ograničeno samo u toj osi. Međutim, pošto je to jedino zakretanje obratka, alatni stroj mnogo učinkovitije obrađuje visoke obratke. Peteroosni glodači obradni centri koji imaju obje osi zakretanja postavljene u stolu općenito su ograničeni na obratke koji su malih dimenzija u odnosu na linearna gibanja. Ali izvedba ovog peterosnog obradnog centra postavlja izradak više fiksiranim, omogućavajući da alatni stroj obrađuje visoke cilindrične obratke.



Slika 13. Obrada impelera na izvedbi s okretnim stolom i nagibnom glavom vretena [8]

Primjer peteroosnog glodačkog obradnog centra s takvom izvedbom jest Hurco VMX42SR, slika 14.



Slika 14. Hurco VMX42SR [9]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 1067x610x610 mm

kuta zakreta B, C osi - +/-90, 360 stupnjeva

najveće opterećenje stola – 500 kg

najveća snaga vretena – 36 kW

najveći broj okretaja vretena – 14 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 40

najveća posmična brzina – 15,2 m/min

najveći brzi hod – 30 m/min

najveći broj okretaja

rotacijskih osi B,C – 50 okr/min / 33 okr/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 3175x4632x3735 mm

masa stroja – 7565 kg [9]

Proizvođač Deckel Maho u ponudi ima DMU 125 duoblock, slika 15. Posebna značajka ovog alatnog stroja je mogućnost pomicanja krova te se na taj način pomoću kрана mogu obrađivati mnogo masivniji obratci i do 2 500 kg.



Slika 15. Deckel Maho DMU 125 FD duoblock [10]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 1250x1250x1000 mm

najveća opterećenje stola – 2 500 kg

najveća snaga vretena – 28 kW

maksimalan broj okretaja vretena – 8 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 120

najveća posmična brzina – 15 m/min

maksimalan brzi hod – 30 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 3761x3896x6297 mm

masa – 15 500 kg [10]

Talijanski proizvođač RemaControl u ponudi ima Newton Big 2500 T5, slika 16.



Slika 16. RemaControl Newton Big T5 [5]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 6000x800x800 mm

najveće opterećenje stola – 1 500 kg

najveća snaga vretena –20 kW

maksimalan broj okretaja vretena – 10 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 30

najveća posmična brzina –40 m/min

maksimalan brzi hod – 60 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 3104x3450x3000 mm [5]

Izvedba s okretno nagibnim stolom

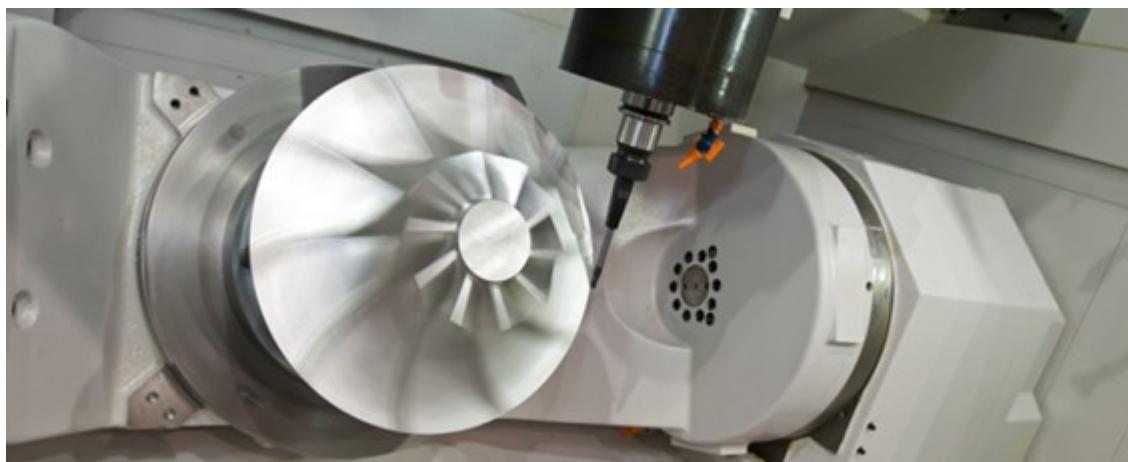
Izvedba s ugradbenim okretno-nagibnim stolom

Horizontalni obradni centri s B okretnom osi okretnog stola, su često dostupni sa sekundarnom rotacijskom osi u obliku 360 stupnjeva, uređaj A osi koji se može montirati na glavni stol. Na ovom alatnom stroju, glavni stol je toliko velik da se A os može pozicionirati u širokom rasponu koordinata, čime se povećava fleksibilnost.

Učinkovito programiranje, međutim, zahtijeva od programera da točno zna gdje se površina A osi stola namješta s obzirom na zakret osi B. U praksi, to često znači da je program napisan na način da se pretpostavi određen položaj osi A, ostavljajući operatera u dugotrajnom koraku pripreme pozicioniranja osi A kako bi se zadovoljio taj uvjet. Korištenjem CAD/CAM softvera se taj proces olakšava jer već sam CAM postprocesor izračunava kuteve zakreta A osi odnosno B osi kako bi se obradak pravilno pozicionirao.

Idealan obradak za ovaj alatni stroj je onaj koji predstavlja prsten provrta okrenut prema vretenu, pogotovo ako je taj dio cilindričan i zahtijeva obradu oko svoje osi, slika 17.

Opremljen za peteroosnu obradu, stvara se problem ograničenja veličine obradaka. Kada je A os na mjestu, veličina obratka nije ograničena ne samo s obzirom na zakretanje oko osi A, ali i prema tome koliko je praktično maknuti velik komad s horizontalnog stola.



Slika 17. Obrada impelera na stolu peteroosnog glodaćeg obradnog centra s A i C okretno nagibnim stolom[8]

Primjer alatnog stroja s takvom izvedbom je Okuma MU-500V, slika 18.



Slika 18. Okuma MU-500V [14]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 1250x660x540 mm

kuta zakreta A, C osi - +20/-110, 360 stupnjeva

najveće opterećenje stola – 500 kg

najveća snaga vretena – 11 kW

najveći broj okretaja vretena – 8 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 20

najveća posmična brzina – 30 m/min

najveći brzi hod – 40 m/min

najveći broj okretaja rotacijskih osi B,C – 50 1/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 3541x2940x3367 mm

masa – 13 000 kg [14]

Tvrtka Spinner u ponudi ima glodači obradni centar VC560 koji ima mogućnost nadogradnje okretnog nagibnog stola kako bi nastao višeosan glodači obradni

centar, slika 19. Upravljanja mogu biti Fanuc 21iMB/18iMB ili Siemens 840 SolutionLine. Koristi dijaloško programiranje kao standard za brzu izradu prototipova i proizvodnju manjih serija izradaka. Također kao opciju može imati softver za brzu izradu kalupa. Najveća brzina vretena je 15 000 1/min s opcijom ugradnje motorvretena s brzinama vrtnje od 30 000 do 50 000 1/min.



Slika 19. Spinner VC560 [20]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 560400x400x mm

kuta zakreta A, C osi - +20/-110, 360 stupnjeva

najveće opterećenje stola – 200 kg

najveća snaga vretena – 6 kW

najveći broj okretaja vretena – 15 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 24

najveći brzi hod – 36 m/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 3541x2940x3367 mm

masa – 2 900 kg [20]

Proizvođač Feeler u ponudi ima B-800 5AX, slika 20.



Slika 20. Feeler B-800 5AX [20]

Specifikacija:

dužina gibanja osi – 800x500x500 mm

kuta zakreta A, C osi - +20/-110, 360 stupnjeva

najveće opterećenje stola – 200 kg

najveći okretaju vretena – 15 000 1/min

najveća snaga vretena – 11 kW

kapacitet spremišta alata – 20

najveći brzi hod – 24 m/min [20]

Izvedba s okretno nagibnim stolom kao kompaktnim dijelom alatnog stroja

Ova izvedba je slična izvedbi s dvostruko okretnim stolom zbog načina na koji su postavljene dvije zakretne osi ispod obratka, a niti jedna u glavu vretena. Model DMU 50V vertikalni glodači obradni centar iz tvrtke Deckel Maho kombinira C os od 360 stupnjeva na okretnom slotu, sa rotacijskom osi od 180 stupnjeva. Ta os od 180 stupnjeva, naziva "B" ili "A", odstupa od standardnog konvencionalnog označavanja za nagibne osi. Središte rotacije B, odnosno A, osi nalazi se pod kutom od 45 stupnjeva u odnosu na Y odnosno X os ovisno o izvedbi, prema literaturi [10].

Rotacijske osi su ugrađene u platformu vertikalnog okomitog obradnog centra kako bi se dobio peteroosni alatni stroj sa približno jednakim dimenzijama vertikalnih obradnih alatnih strojeva srednje veličine. Alatni stroj još stvara izazov programerima kao i alatni stroj s dvostruko okretnim stolom gdje je vizualizacija rada prijeko potrebna. Međutim, u ovom slučaju, fiksno vreteno omogućava da peteroosan glodači obradni centar u ovoj izvedbi sa malim alatom, slika 21, na nepristupačnim pozicijama obratka tome može izvršiti relativno duboke rezove.

Izvedba s okretno-nagibnim stolom ne može prihvatiti velike komade, ali zato čini peteroosnu obradu manjih dijelova mnogo ekonomičnijom, te vertikalni dizajn alatnog stroja dodatno operaterima čini jednostavnijom pripremu i micanje obradaka.

Takva izvedba se smatra i najpreciznijim peteroosnim glodačim obradnim centrom, prema literaturi [8].



Slika 21. Višeosna obrada na BC okretno nagibnom stolu [10]

Primjer takve izvedbe je Deckel Maho DMU 50V, slika 22.



Slika 22. Deckel Maho DMU 50V [10]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 750x600x520 mm

kuta zakreta B, C osi - +180/360 stupnjeva

najveće opterećenje stola – 400 kg

najveća snaga vretena – 13 kW

najveći broj okretaja vretena – 10 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 16

najveća posmična brzina – 6 m/min

najveći brzi hod – 24 m/min

najveći broj okretaja

rotacijskih osi B,C – 50 1/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 2950x3840x5231 mm

masa – 4 800 kg [10]

Proizvođač Iyoti proizvodi alatne strojeve K2X serije koji imaju A i C osi rotacije pridružene stolu, slika 23.



Slika 23. Iyoti K2X 8 [20]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 750x600x520 mm

kuta zakreta A, C osi – 45/+180, 360 stupnjeva

najveće opterećenje stola – 500 kg

najveća snaga vretena – 25 kW

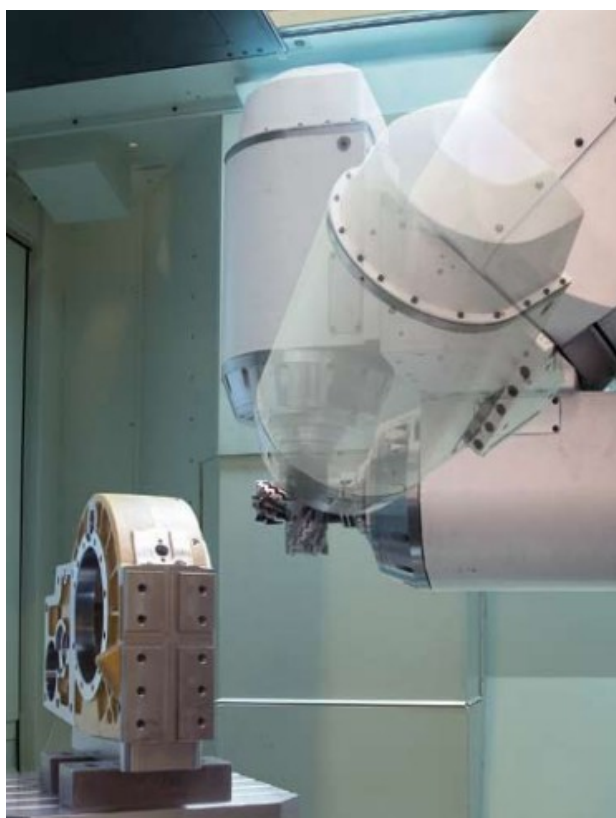
najveći broj okretaja vretena – 25 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 30

rotacijskih osi B,C – 40, 90 1/min

Izvedba s dvostruko zakretnom glavom vretena

Ovakva izvedba alatnog stroj uparuje C os od 360 stupnjeva, s nagibnom osi od ± 135 stupnjeva zakreta. Ako stavite obje zakretne osi na glavu vretena dobivamo ograničenja u silama rezanja koje se kompenziraju većom fleksibilnošću. Bilo koji peteroosni glodači obradni centar s okretnim stolom teži obradi okruglih obradaka. Međutim, izvedba s dvostrukom zakretnom glavom vretena čini ovaj alatni stroj idealnim za dijelove koji su isključivo nepravilnog oblika, slika 24. Na primjer, najučinkovitiji je alatni stroj za obradu dugih dijelova zrakoplova u jednom stazanju, osobito onih dijelova s provrtima pod nepravilnim kutevima duž cijele duljine. Primjer obradnog centra s takom izvedbom je MAG NBH630 5X, slika 25.[12]



Slika 24. Moguće rotacije glave vretena obradnog centra MAG NBH 630 5X prilikom obrade kućišta elektromotora [13]



Slika 25. MAG NBH 630 5X [13]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 1025x800x1000 mm

kuta zakreta A, C osi - +/-180 stupnjeva

najveće opterećenje stola – 1500 kg

najveća snaga vretena – 25 kW

najveći broj okretaja vretena – 10 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 60

najveći posmična brzina – 70 m/min

najveći brzi hod – 70 m/min

najveći broj okretaja rotacijskih osi B,C – 80 1/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 3445x5530x6250 mm

masa – 24 000 kg [13]

Tvrtka Belotti u ponudi ima FLA 4018, slika 26, prikladnu za obradu polimera, kompozita i drveta, kao i obradu lakih legura.



Slika 26. Belotti FLA 4018 [20]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 2600x3200x1100 mm

Proizvođač EMMEDUE u ponudi ima alatne strojeve Galaxy serije, slika 27.



Slika 27. EMMEDUE Galaxy [20]

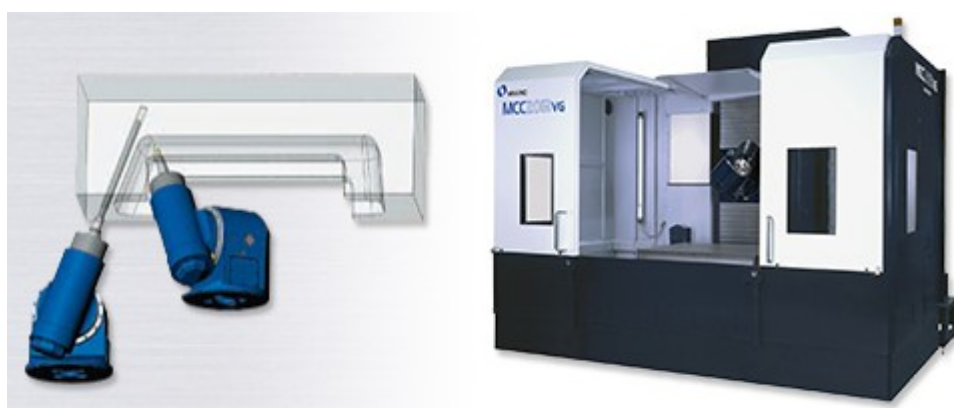
Specifikacije:

dužina gibanja osi – 3950x2200x700 mm
kuta zakreta A, C osi - $\pm 5/95$, 365 stupnjeva
najveće opterećenje stola – 1500 kg
najveća snaga vretena – 22 kW
najveći broj okretaja vretena – 10 000 1/min
najveći posmična brzina – 25 m/min
dimenzije stroja (širina/dužina) – 3250x1850 mm
masa – 7 000 kg [13]

4.3.3 Višeosni obradni centri sa šest i više osi

Moguće su izvedbe sa šest, sedam, osam, devet te čak i dvanaest osi. Te dodatne osi se dobivaju različitim kombinacijama prethodno navedenih izvedbi kod peteroosnih glodaćih obradnih centara npr. na način da se omogući dvostruka rotacija stola (B i C, ili A i C) čime već dobivamo pet osi, te još i nagibnu os glave vretena (za to je pridodana A os). Zajedno ta kombinacija stvara šesteroosan glodaći obradni centar. Naravno ako glavi vretena pridodamo još koji stupanj slobode tada dobivamo i više od šest osi gibanja. Izvedbe sa više od pet osi su rijetke upravo iz razloga što je pet osi sasvim dovoljno da alat dođe do bilo koje točke obratka.[5]

Primjer šesteroosnog alatnog stroja je Makino MXX2013VG, slika 28.



Slika 28. Obrada na šesteroosnom obradnom centru i Makino MXX2013VG [11]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 2000x1300x1300 mm
kuta zakreta A, C osi - +30/+185 stupnjeva
kut zakreta B osi – 360 stupnjeva
najveći opterećenje stola – 10 000 kg
najveća snaga vretena – 13 kW
najveći broj okretaja vretena – 20 000 1/min [11]

Proizvođač Fidia proizvodi KR199, slika 29, s okretnim stolom i peteroosnom glavom vretena.



Slika 29. Fidia KR199 [20]

Specifikacije:

dužina gibanja osi – 1650x750x850
mogućnost obrade obradaka promjera 2000 mm
kuta zakreta A, C osi - +95/-110, +220 stupnjeva
najveće opterećenje stola – 12 000 kg

najveća snaga vretena – 55 kW

najveći broj okretaja vretena – 24 000 1/min

kapacitet spremišta alata – 24

najveći posmična brzina – 30 m/min

najveći brzi hod – 50 m/min

najveći broj okretaja rotacijskih osi A, C – 3600 1/min

dimenzije stroja (visina/širina/dužina) – 28350x3920x3860 mm

masa – 18 300 kg [20]

5. UPRAVLJAČKE JEDINKE

Alatni stroj sa numeričkim upravljanjem upotrebljava numeričke podatke (koji se mogu dobiti pomoću postprocesora ukoliko se za programiranje koristi neki od CAM softvera, ili ručnim programiranjem) za direktno upravljanje gibanja pojedinih dijelova alatnog stroja. Numerički podaci se procesiraju u upravljačkoj jedinki za obradu, (NC upravljačkog sustava), i onda se proslijeđuju pogonima alatnog stroja za izvršenje programiranog gibanja. Za proizvodnju jednog određenog strojnog dijela potrebno je nekoliko vrsta podataka, kao što su geometrijski, tehnološki, podaci reznog alata, itd. Izvor svih informacija je tehnički crtež, napravljen u konstrukcijskom odjelu. Obrada tih podataka se izvodi ručno za konvencionalne alatne strojeve i automatski za numerički upravljane alatne strojeve.

Postoji više mogućnosti unošenja podataka u upravljačke jedinice CNC alatnih strojeva, a neke od njih su:

- Ručno unošenje programa u upravljačku jedinku direktno na alatnom stroju,
- DNC (Direct numerical control) direktno numeričko upravljanje je u potpunosti automatsko prenošenje informacija iz računala u upravljačku jedinku, a funkcije su mu - manipulacija sa NC programima (učitavanje, memoriranje, brisanje, izvršavanje, itd.), editiranje i unošenje NC programa, kontrola protoka materijala i kontrola proizvodnje

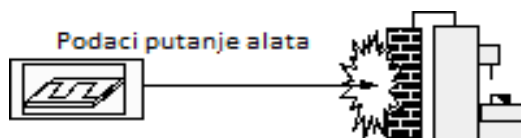
Neki od najpoznatijih proizvođača upravljačkih jedinica su Fanuc, Siemens, Heidenhain, Mitsubishi i Mazak. Svaki od navedenih proizvođača koristi svoj način programiranja, najčešće se koristi ISO standard prilikom programiranja, dok neki proizvođači koriste dijaloško programiranje putem unaprijed definiranih funkcija. Na tom je području najnapredniji Heidenhain.

6. POSTPROCESSOR

Obradivanje, ili post-procesiranje je prijevod datoteke putanje alata (CL file) dobivenim iz Manufacturing aplikacije CAM softvera izvornog oblika za pohranjivanje CAM uputa, u jezik predviđenim za numerički upravljane alatne strojeve odnosno za njihova upravljanja, bilo da se radi G-kodu za Fanuc, G-Code za Okumu, ili Heidenhain jezik za Heidenhain upravljanja. Nakon post-procesiranja dobije se datoteka s naredbama u jezik koji je specifičan za to određeno upravljanje NC alatnog stroja, prema literaturi [15]. Postprocesor je zadnja softverska veza između idealnog CAD modela i "pravog" obrađenog komada (obratka). U kolikoj mjeri postprocessor može iskoristiti CNC sposobnosti, i obrnuto, određuje broj raspoloživih mogućnosti programiranja i stupanj težine programiranja. Datoteka koja se dobije postprocesiranjem šalje se u NC alatni stroj različitim metodama. Neki alatni strojevi mogu koristiti USB stick, disketu, serijski (RS232 ili RS422) kabel, ili umreženu karticu spojenu sa računalom (Ethernet), prema literaturi [17].

Primarno korištenje Manufacturing aplikacije je generiranje alata puta za proizvodnju dijelova. Općenito, ne možemo samo poslati neizmijenjenu datoteku putanje alata na računalu i početi obradu jer postoji mnogo različitih tipova alatnih strojeva. Svaka vrsta alatnog stroja ima jedinstvene hardverske mogućnosti i zahtjeve, na primjer, postoji vertikalno ili horizontalno vreteno, te obrada može trajati simultanim gibanjem osi alatnog stroja, itd.[18]

Nadalje, svaki alatni stroj je pod kontrolom računala (tj., upravljanja alatnog stroja). Upravljanje prihvaća datoteku putanje alata i usmjerava funkcije gibanja i druge aktivnosti alatnog stroja (npr., pokretanje rashladne tekućine). Naravno, baš kao i svaka vrsta alatnog stroja ima jedinstvene karakteristike hardvera, upravljanja se također razlikuju u softverskim značajkama. Na primjer, većina upravljanja zahtijevaju da upute za pokretanje rashladne tekućine bude definirano u točno određenom kodu (npr. najčešće M8). Neka upravljanja također ograničavaju broj M kodova koji su dozvoljeni u jednoj liniji programa. Ova informacija nije u početnoj datoteci putanje alata.



Slika 30. Ilustracija programiranja [18]

Datoteka putanje alata nije formatirana za alatni stroj. Stoga se putanja alata mora mijenjati kako bi odgovarala jedinstvenim parametrima svakog pojedinoj kombinaciji alatnog stroja i upravljanja. Rezultat je postprocesirana putanja alata.

Dva su elementa neophodna za obradu. Oni su:

- datoteka putanje alata
- postprocesor - to je program koji čita podatke putanje alata i to reformatira za korištenje na određenom alatnom stroju i njegovom pratećem upravljanju

Postprocesor je program koji je predodređen jednoj vrsti kombinacije alatnog stroja i upravljanja. Primjer koji ću iznijeti pomoću CAD/CAM sustava UGS NX 8.0 uz pomoć pratećeg programa "Post builder" možemo mijenjati parametre datoteke postprocesora za funkcije na tom tipu alatnog stroja u kombinaciji s upravljanjem, u ovom slučaju radi se o peteroosnom obradnom centru Deckel-Maho DMU50V sa Heidenhain TNC426PB upravljanjem, slika 31.



Slika 31. Deckel Maho DMU 50V

NX pruža generalizirani postprocesorski program, Post builder, koji koristi NX podatke putanje alata kao ulaz, a izlazi strojno čitljiv NC kod. Post builder je vrlo prilagodljiv i može se koristiti za obje vrlo jednostavne i vrlo složene alatne strojeve odnosno upravljanja.

Post postprocessor

NX zahtjeva post postprocessor da može pravilno formatirati putanju alata za određene vrste alatnih strojeva / upravljanja. Post postprocessor zahtijeva nekoliko elemenata:

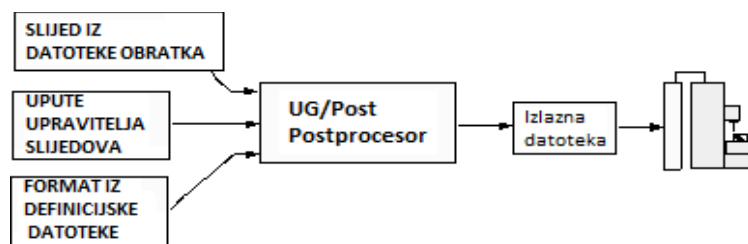
- **Event Generator** - je NX jezgra modula koji prolazi kroz događaje u datotekci obratka i povezuje podatke sa svakim procesom i post postprocesorom. Proces je prikupljanje podataka, da kada ga obrađuje postprocesor, uzrokuje NC alatni stroj za obavljanje neke određene kretnje.
- **Event Handler (.tcl datoteka)** - je datoteka koja sadrži niz instrukcija koje određuju kako se svaka vrsta procesa obrađuje.
- **Definition File (.def)** - je datoteka koja sadrži osnovne informacije vezane uz određeni alat kombinacije alatnog stroja / upravljanja.

- **Output File** - je datoteka gdje postprocessor postavlja obrađene NC upute koje će se čitati i izvršiti u alatnom stroju.
- **Post User Interface file (.pui)** – datoteka koju koristi Postbuilder za uređivanje procesa i datoteka definicije, prema literaturi [19].

Event Generator, Event Handler i Definition File su međusobno zavisni. Zajedno transformiraju podatke putanje alata sadržane u dijelu datoteke u skup oblikovanih uputa koje se mogu pročitati i izvršiti u određenom tipu alatnog stroja odnosno upravljanja.

Post postprocesor čini sljedeće korake:

- koristi generator slijeda (Event Generator) za čitanje procesa (podatke putanje alata) iz datoteke obratka.
- svaki proces obrade je obrađen u skladu s uputama sadržanim u upravitelju slijedova (Event Handleru).
- dobivene upute su formatirane prema informacijama sadržanim u Definition fileu.
- obrađene postprocesirane naredbe za upravljanje numerički upravljanoj alatnog stroja spremljene su u izlaznu datoteku (Output File).



Slika 32. Ilustracija toka programiranja [19]

Izrada postprocesora

Koristit ćemo NX / Post builder dijaloški okvir koji omogućava sljedeće:

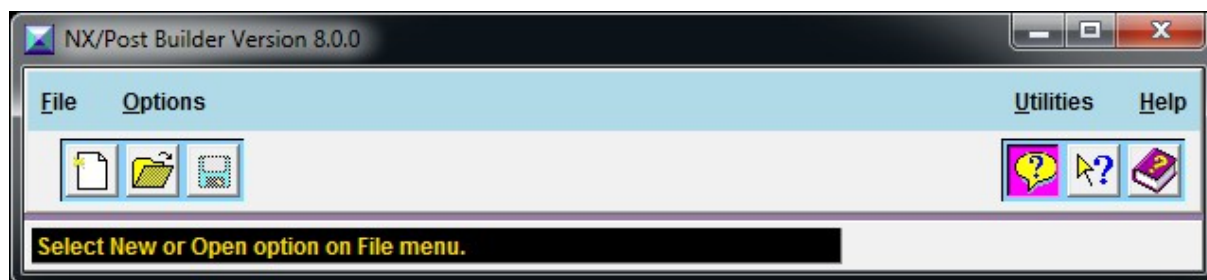
- Definiranje novog post procesora u Create New Post Processor dijaloškom okviru.
- Uređivanje postojećeg post procesora.

- Upravljanje dostupnim oblicima pomoći u drugim dijaloškim okvirima.

Dijaloški okvir sadrži samo traku izbornika, alatne trake i bijelu liniju. Ostali dijaloški okviri se pojavljuju prilikom definiranja post procesora.

Kada otvorimo Create New Post Processor dijaloški okvir dijaloški ili uređivanje dijaloškog okvir, bijela linija nastavlja pokazivati prijedloge o zadatku vezane za stranicu koju prikazuje u drugim dijaloškim okvirima.

Za razvoj postprocesora, moramo stvoriti event handler rukovatelj i definition file. Nakon stvaranja postproceora, imat ćemo tri datoteke: <ime_postprocesora> .tcl, ~ .def i ~.pui.

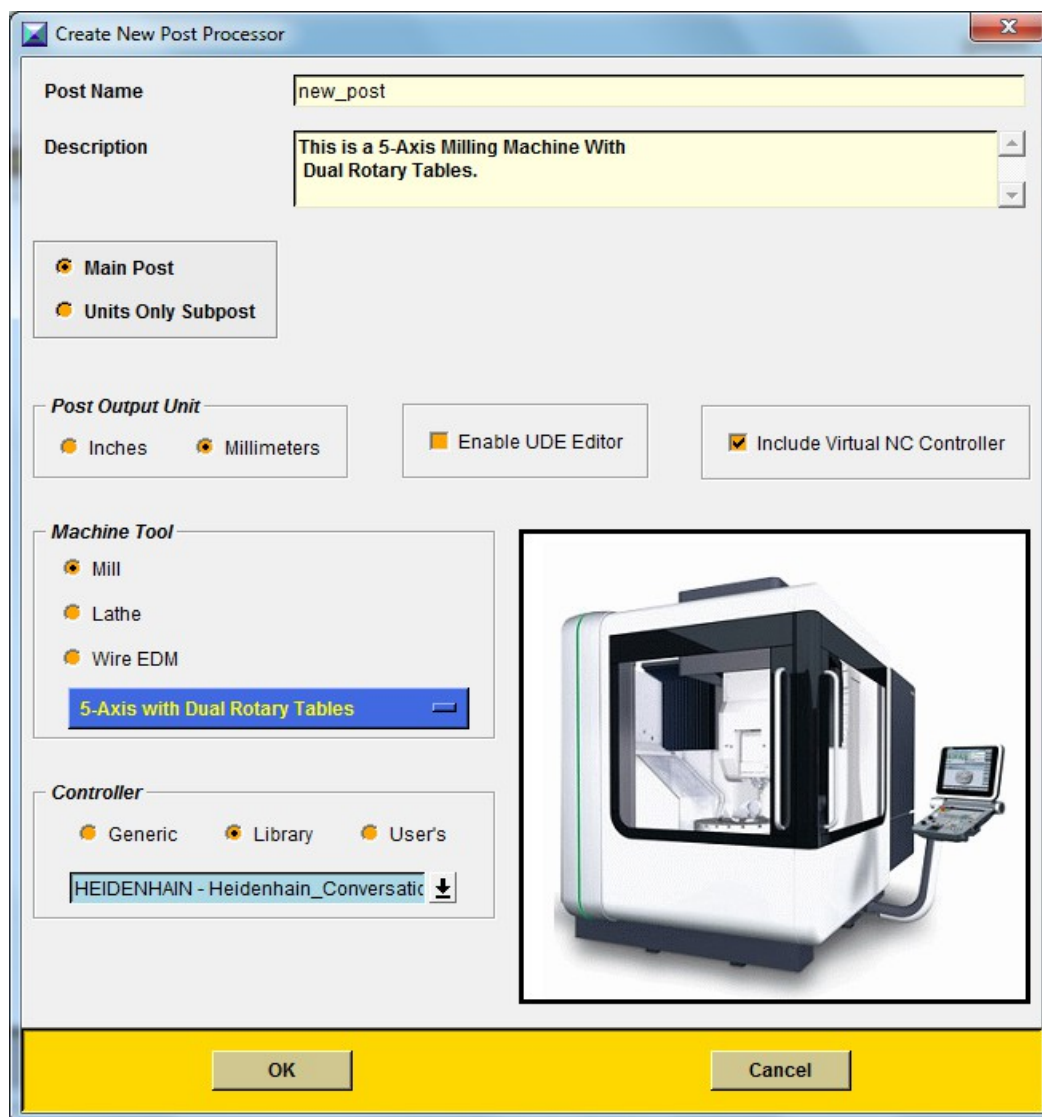


Slika 33. Početni prozor Post builder aplikacije [19]

Definiranje i uređivanje glavnog postprocesora

Koristimo naredbu New u Post Builderu, slika 33., za definiranje sljedećeg:

- Naziv i opis vašeg novog post-procesora.
- Vrsta post-procesora kako bi se stvorio: Glavni post procesor ili Units only Sub post
- Zadane izlazne jedinice
- Vrsta alatnog stroja za koji je post namijenjen
- Informacije o upravljanju



Slika 34. Prozor za odabir vrste alatnog stroja i upravljanja [19]

Opcije koje su bitne u ovom dijaloškom okviru, slika 34, su:

- **Include Virtual NC Controller** - Dostupno kada odaberemo predložak upravljanja koji uključuje virtualni NX kontroler. Na primjer, on je dostupan kada odaberete Fanuc_30i. Također možemo koristiti Virtual N/C Controller u kartici dijaloškog okvira za uređivanje post procesora za dodatno definiranje virtualnog NC kontrolera. Ovdje je označen prozorčić s obzirom da NX CAM omogućava virtualnu simulaciju alatnog stroja koji na taj način provjerava

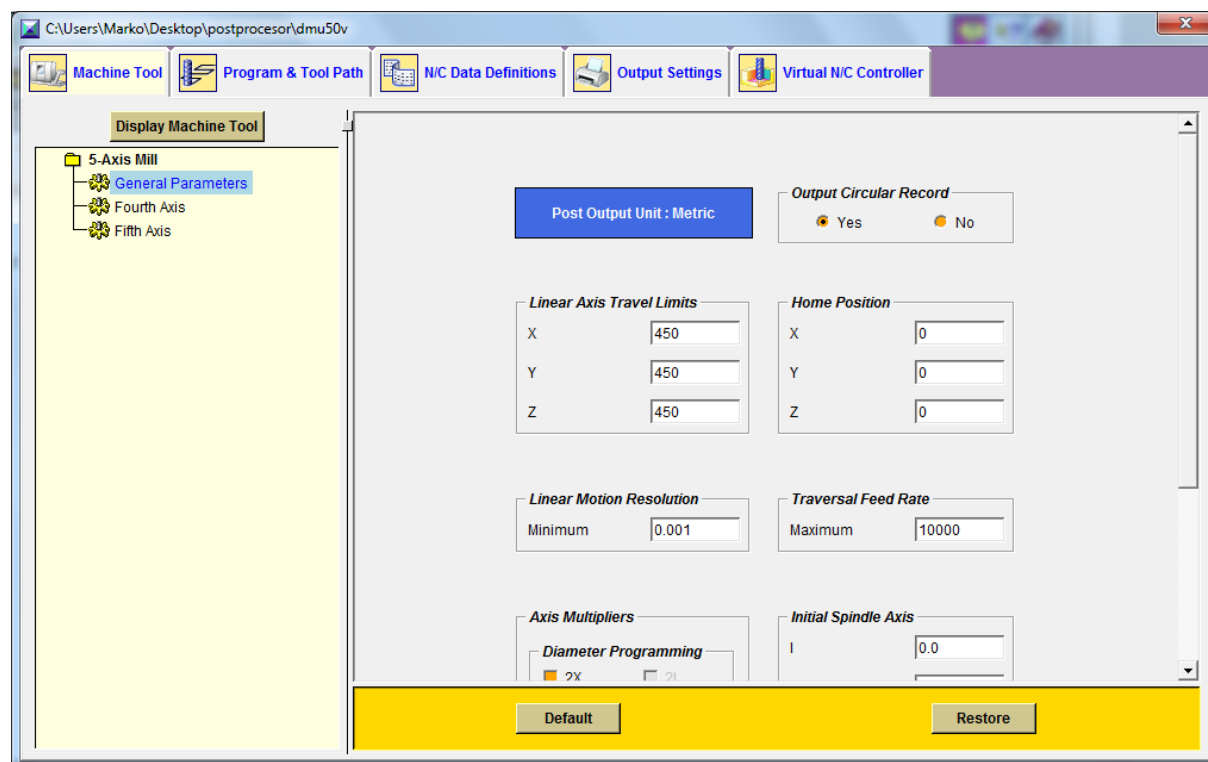
točnost programa i pregled procesa obrade obratka kako bi se spriječila eventualna kolizija glave vretena sa stolom prilikom brzog hoda alatnog stroja (G0/ F MAX).

- **Machine Tool** - Omogućuje odrediti vrstu alatnog stroja od sljedećih podržanih konfiguracija: Mill 3-osi koji uključuje tri linearne osi: X, Y i Z 3-os Mill turn (XZC), 4-osi s okretnim stolom, 4-os s nagibnom glavom, 5-osi s dvojnomo okretnom glavom. 5-osi s okretno nagibnim stolom. 5-osi s rotacijom glave i stola. Zatim tokarilica i žica EDM. Ono što je nama potrebno u ovom dijelu jest da odaberemo 5-osni alatni stroj sa okretno nagibnim stolom, jer se radi o alatnom stroju Deckel Maho DMU50V koji ima ograničenja u rotaciji B osi 0-180° i to na način da je pozitivna rotacija suprotna od smjera gibanja kazaljke na satu (CCW), dok C os ima samo ograničenja postavljena samo u parametrima upravljanja u vrijednostima od -30 000° do +30 000°
- **Controller (upravljanje)** - Omogućuje nam navesti jedan od sljedećeg: General - Generički kontroler koji možemo podesiti. Library - Omogućuje nam odabir prethodno definiranih konfiguracija kontrolera. User's - Omogućuje odabir postojećih post procesora. Početni kontroler konfiguracije za svoj novi post procesor se temelji na kontroler konfiguraciji u post procesoru koji sme naveli.

Ovdje odabiremo Heidenhain Conversational jer radimo post procesor za upravljanje Heidenhain TNC426PB.

Definiranje post procesora

Sljedeći prozor, slika 35, služi za definiranje osnovnih parametara kinematike alatnog stroja. Ovdje obavezno treba paziti na definiranje 4. (B) i 5. (C) rotacijske osi alatnog stroja. 4. rotira pod kutem od 45° u odnosu na vreteno i ima ograničenu rotaciju od 0-180° koja se odvija suprotno od smjera kazaljke na satu. Na to treba obratiti posebnu pozornost, čiji će koraci biti objašnjeni u daljnjem tekstu.



Slika 35. Prozor za definiranje osnovnih parametara alatnog stroja [19]

Alat stroja (Machine Tool)

Omogućuje prikaz generičkog pogleda alatnog stroja, postavke osnovnih kinematičkih parametara alatnog stroja, i postavke nekih osnovnih mogućnosti kontrolera, kao što je izlaz kružnih zapisa.

Program i putanja alata (Program & tool path)

Omogućuje dodavanje blokova koda i riječi, podešavanje formata i nizanje za riječ kontrolera, upravljanje povezanim postovima, i još mnogo toga.

Podaci N/C kontrolera (N/C Data Definitions)

Omogućuje izmjenu blokova, riječi, oblika i formata riječi; dodavanje korisnički definiranih procesa datoteka, i proslijeđivanje korisnički definiranih procesa iz drugih postprocesora.

Opcije izlaznih podataka (Output settings)

Omogućuje upravljanje izlazom unosa datoteka i popisom datoteka sadržaja, dodavanje units-only subposts, i još mnogo toga.

Viirtualan NC kontroler (Virtual N/C kontroler)

Omogućuje konfiguriranje virtualnog numeričkog upravljanja. Izlaz je kompatibilan samo s Tcl-zasnovanim upravljanjem alatnog stroja, tj. MTD-om (machine tool driver).

Machine tool (kartica alatnog stroja)

Kartica Machine Tool, slika 36, ima opcije koje omogućuju da konfiguriramo kinematiku svog alatnog stroja. Možemo definirati granice i smjer osi gibanja, orijentacije gdje je primjenjivo, multiplikatore osi, obuhvatna posmična brzina, i tako dalje.

Konfiguracija alatnog stroja može se podijeliti u čak tri dijela, ovisno o konfiguraciji odabranog alatnog stroja i to na: generalne parametre, 4. i 5. os (Fourth Axis, Fifth Axis)

Glavni parametri (General parameters)

Od postavki u generalnim parametrima potrebno je odrediti osnovne parametre izračunavanja koordinata gibanja alata (izračunavanje kružnih putanja alata - G2 i G3, granice pravocrtnog gibanja – X, Y, Z osi, itd.)

Ispis zapisa kružnog gibanja (Output Circular Record)

Možemo postaviti ovu opciju na Yes ili No, ako postavite na "da" sustav reproducira sve krugove na temelju parametara kružnih pokreta. Ako je postavljen na "ne" sustav ne računa blokove kružnog gibanja (G2 ili G3).

Kružni zapis također ovisi o načinu odabranog koordinatnog sustava i postavki zapisa kružnih gibanja snimanja.

Tablica 1. Popis varijanti zapisa izlaznih podataka

Postavljeni koordinatni sustav	Zapis kružnog gibanja	Izlazni podaci
polarni	polarni	Polarne kružnice
kartezijev	kartezijev	kartezijeve kružnice
kartezijev	polarni	/
polarni	kartezijev	/

Ograničenje osi linearnog gibanja (Linear Axis Travel Limit)

Ova opcija omogućuje da provjerimo ograničenja puta prilikom uvoza prilagođene naredbe `pb_cmd_check_travel_limits.tcl`. Ovdje postavljamo sve vrijednosti po 450 mm, jer alatni stroj sam po sebi ima granice gibanja po osima manjima od 400 mm.

Home Position

Definira zadanu FROM poziciju ako nismo naveli FROM položaj.

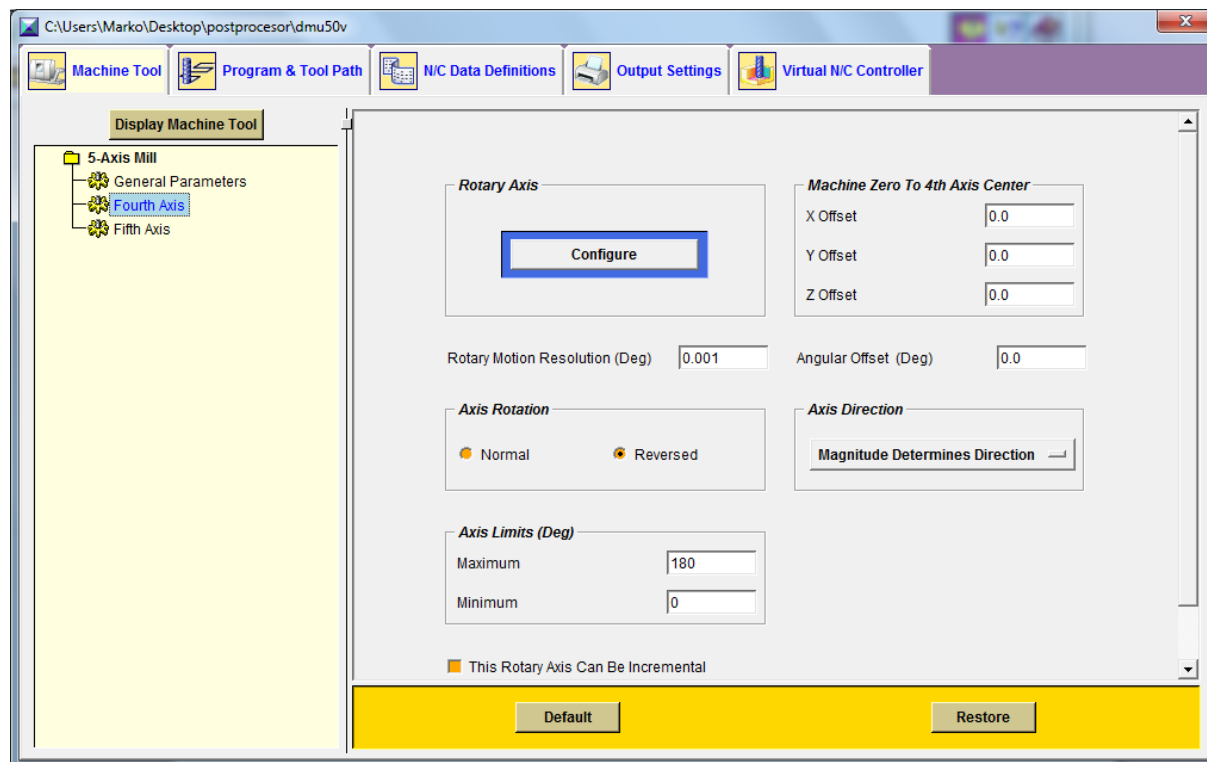
Rezolucija linearnog gibanja (Linear Motion Resolution)

Definira minimalnu vrijednost na kojoj sustav računa sve koordinate. To ne mora nužno kontrolirati format zapisa podataka koordinata. Za kontrolu formata podataka koordinata moramo promijeniti broj decimalnih znamenki.

Obuhvatna posmična brzine (Traversal Feed Rate)

Definira posmičnu brzinu koju sustav koristi za izračunavanje vremena obrade kod brzih pokreta. Sustav također koristi ovu vrijednost kako bi se utvrdilo je li potez linearne posmične brzine izveden brzim hodom.

Parametri četvrte i pete osi (Fourth Axis i Fifth Axis parameters)



Slika 36. Prozor za određivanje parametara rotacijskih osi [19]

Dijaloški okvir četvrte osi i dijaloški okvir pete osi imaju iste parametre, s nekoliko iznimaka koje su navedene u sljedećem popisu.

Udaljenost nulte točka alatnog stroja od centra četvrte osi rotacije (Machine Zero to 4th Axis Center)

Postavlja udaljenost od nulte točke alatnog stroja do centra rotacije za 4. os. Ova vrijednost mora biti određena za postprocesor ispravno, jer se preko nje mapira između programiranog MCS-a (machining coordinate system – koordinatni sustav obratka) u NX- i koordinatnog sustava alatnog stroja.

Udaljenost središta četvrte i pete osi rotacije (4th Axis Center to 5th Axis Center)

Vrijede ista pravila kao i kod udaljenosti nulte točke alatnog stroja i centra rotacije 4. osi, ali samo što u ovom slučaju to vrijedi za centre rotacija 4. i 5. osi.

Razlučivost rotacijskog gibanja (Rotary Motion Resolution (Deg))

Kontrolira broj znamenki na koji su izračunate rotacijski kutovi i zaokružene od strane postprocesora.

Kutni pomak (Angular Offset (Deg))

Postavlja vrijednost koju treba dodati da se prilagodi okretni kut 0,0 kada je os alata os (0,0,1).

Rotacijska os (Axis Rotation)

Definira da li os rotira prema pravilu desne ruke. Normal je zadana opcija. Odabiremo Reverse jer se stol na DMU50V ne okreće prema pravilu desne ruke.

Na primjer, ako smo dobili B +90 izlaz kada je potrebna B -90, morat ćemo odabrati Reverse. Obavezno testirati postprocesor, pri čemu je utvrđeno da Reverse zadovoljava uvjete gibanja 4. osi (B rotacija) stola.

Smjer osi (Axis Direction)

Definira kako okretni stol određuje hoće li se okretati u smjeru kazaljke na satu ili obrnuto.

Smjer određen veličinom (Magnitude Determines Direction)

Rotacija na veći kut uvijek ide u smjeru kazaljke na satu i rotacija na manji kut je uvijek u suprotnom smjeru od kazaljke na satu. B-90 i B90 uzrokuju rotacije na različite pozicije koje su odmaknute za 180 stupnjeva, osim na rotacijske osi. Tipično, putna ograničenja na ovoj vrsti stola su viša od 360 stupnjeva, na primjer, -9.999-9999, prema literaturi [19].

Smjer određen znakom (Sign Determines Direction)

Znak određuje samo smjer vrtnje. B90 i B-90 uzrok rotacija na isto mjesto na okretnog stola. Kada je u programu B+90, stol rotira u smjeru kazaljke na satu od svog trenutnog položaja do 90 stupnjeva. Kada Program B-90, stol se okreće suprotno od njegove trenutne lokacije do 90 stupnjeva.

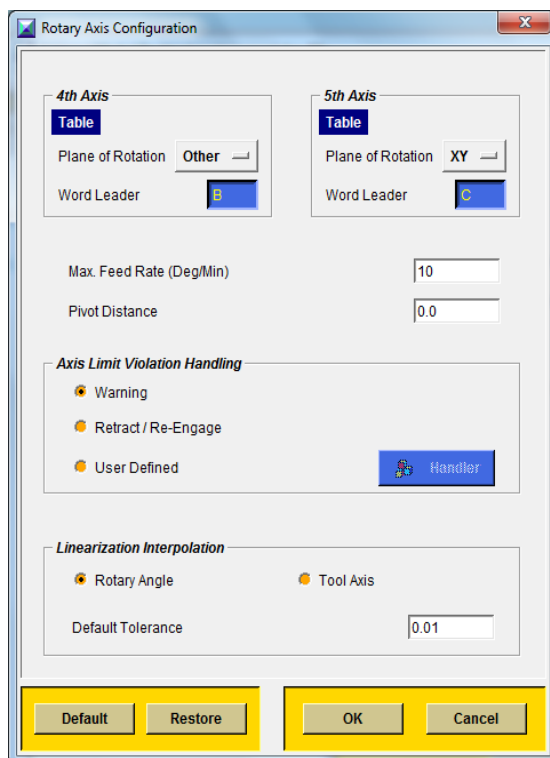
Ograničenja gibanja 4. i 5. osi okretno nagibnog stola (Axis Limits (Deg))

Postavlja minimalni i maksimalni kut koji možete programirati za osi. Postprocesor mjeri raspon gibanja lijevo od minimalnog kuta do maksimalnog kuta. Na primjer, ako imate rotacijski os koja ima 40 stupnjeva putovanja, možete unijeti jedan od sljedećih skupova vrijednosti:

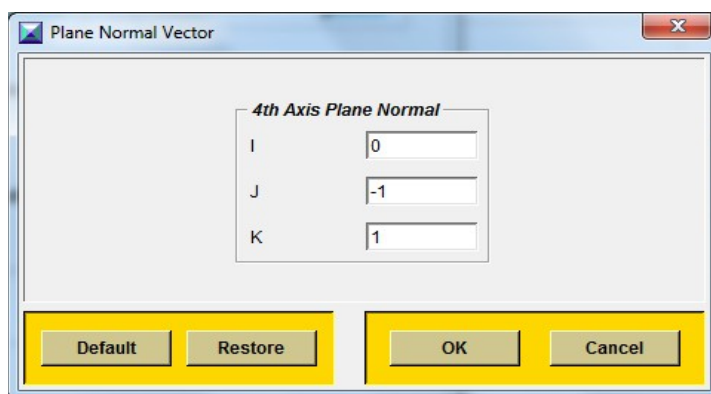
- -20 stupnjeva za minimum i 20 stupnjeva za maksimalno.
- 340 stupnjeva za minimum i 20 stupnjeva za maksimalno.

Ovdje se za četvrtu rotacijsku os (B) definira 0° za minimum i 180° za maksimalan kut rotacije!!!

Prozor za podešavanje rotacijskih osi (Rotary Axis Configuration dialog box)



Slika 37. Prozor za podešavanje smjera rotacija osi[19]

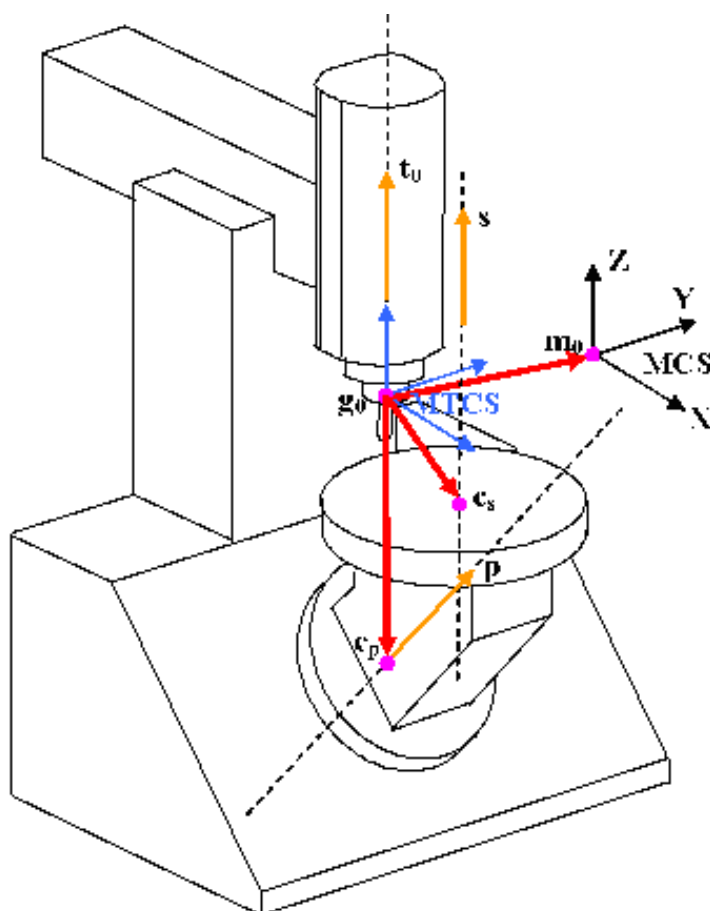


Slika 38. Prozor za određivanje smjera rotacije četvrte osi [19]

Kako bi mogli definirati kinematiku rotacije stola za DMU50V potrebno je odrediti ravnine osi rotacije kao što se vidi na slici iznad, slika 38, s time da s obzirom da

četvrta os nije paralelna niti sa jednom od ravnina koordinatnog sustava potrebno ju je definirati pomoću nulvektora okomitog na ravninu rotacije kroz koju ta os prolazi.

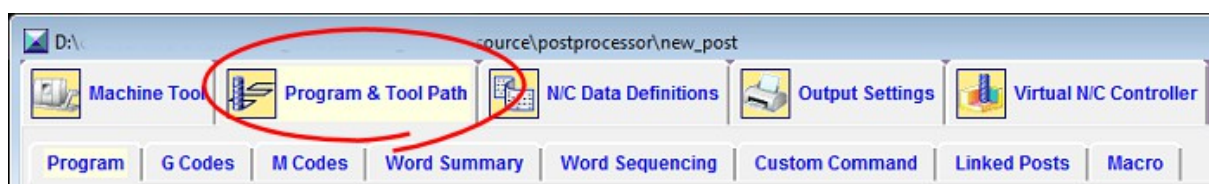
Primjer kinematike DMU50V najbolje se vidi na slici ispod, slika 39, gdje se može najzornije prikazati vektor (vektor "p") koji prozi kroz četvrtu os rotacije (B os).



Slika 39. Prikaz kinematike DMU50V [16]

Program i putanja alata (Program & Tool Path)

Kartica **Program & Tool Path** ima opcije koje omogućuju odrediti NC izlaz za određene procese i naredbe koji su generirani od strane NX Event Generatora, slika 40. U slijedećim koracima ću objasniti koje kartice i pojedinosti su bitne kako bih dobili odgovarajući program koji je bez ikakvih korekcija moguće prebaciti u upravljanje NC alatnog stroja..



Slika 40. Prozor s karticom za definiranje programa i putanje alata [19]

Program

Post builder raščlanjuje NC program u pet različitih sekvenci. Svaka od sekvenci omogućuje kontrolu svog izlaza(outputa).

Neke upute, poput premotavanja zaustavljenog koda i programa na kraju, potrebne su na početku i na kraju NC programa. Ostale upute, poput sekvenci promjena alata(TOOL DEF, TOOL CALL), uključivanje i isključivanje vretena (M3,M5), pokretanje rashladne tekućine i isključivanje (M8 i M9), te primjena pomaka alata, potrebne su na početku i na kraju operacija, prema literaturi [17].

Upute za druga gibanja, kao što su linearno gibanje, kružni pokreti, i tako dalje, mogu se primijeniti u svakom nizu putanje alata.

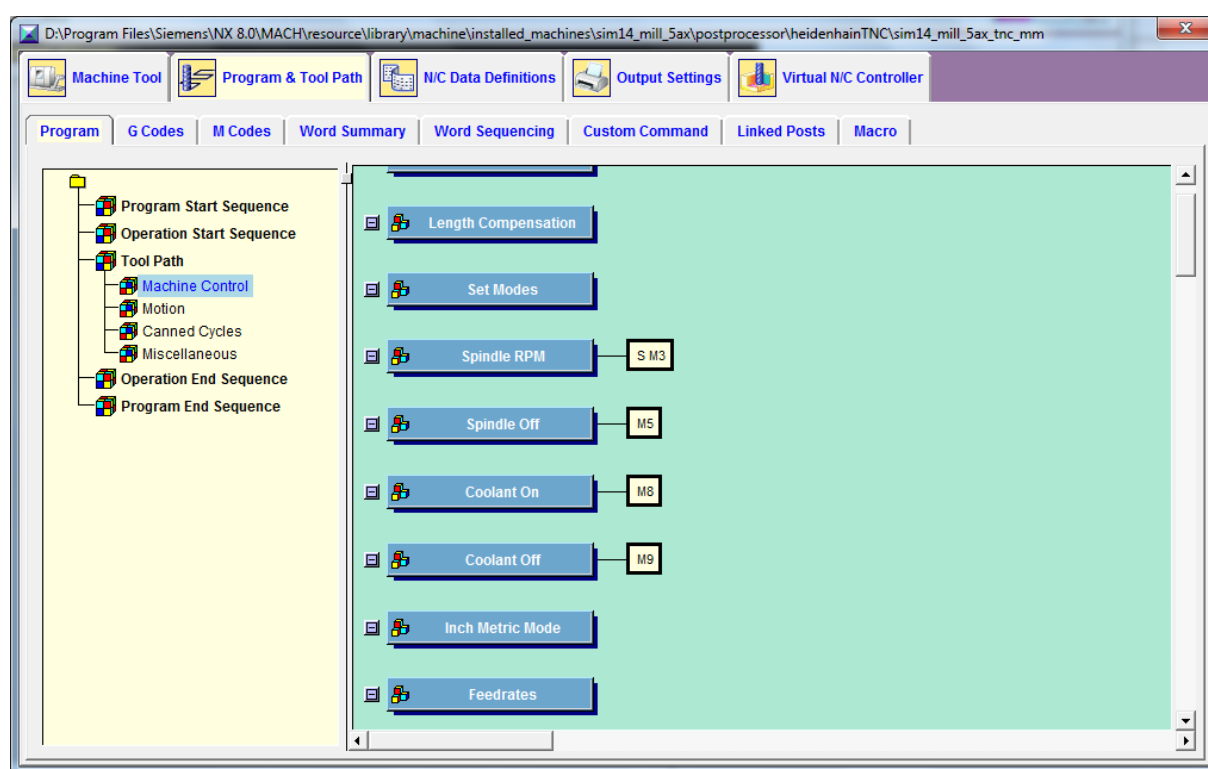
Od kartica su bitne: Operation Start Sequence, Motion

Početan slijed operacije (Operation Start Sequence)

Ovaj slijed definira blokove koje sustav može reproducirati na početku svake operacije. Svaka operacija ima prvu promjenu alata, automatsku promjenu alata, ručnu promjenu alata ili bez zamjene alata.

Ovdje je bitno samo definirati automatsku promjenu alata pod karticom automatske izmjene alata (**Automatic Tool Change**). Ovaj događaj se pojavljuje samo ako operacija sadrži funkciju promjene alata (funkcija promjene alata u Heidenhainu "CALL T"). Sustav aktivira funkciju promjene alata samo kada se alat razlikuje između trenutnog rada i prethodnog rada.

Upravljanje alatnog stroja (Machine control), slika 41.



Slika 41. Prozor s karticom za podešavanje programa prema upravljanju alatnog stroja [19]

Alatni stroj za kontrolu procesa kontrolira uređaje alatnih strojeva, kao što su rashladna tekućina, vreteno, ili obujmice. Moguće je koristiti kontrole alatnog stroja za promjenu načina, kao što su inkrementalni, apsolutnom, obrnuto vrijeme, u minuti, po okretaju ili stalnu površinsku brzinu (G96), prema literaturi [17]

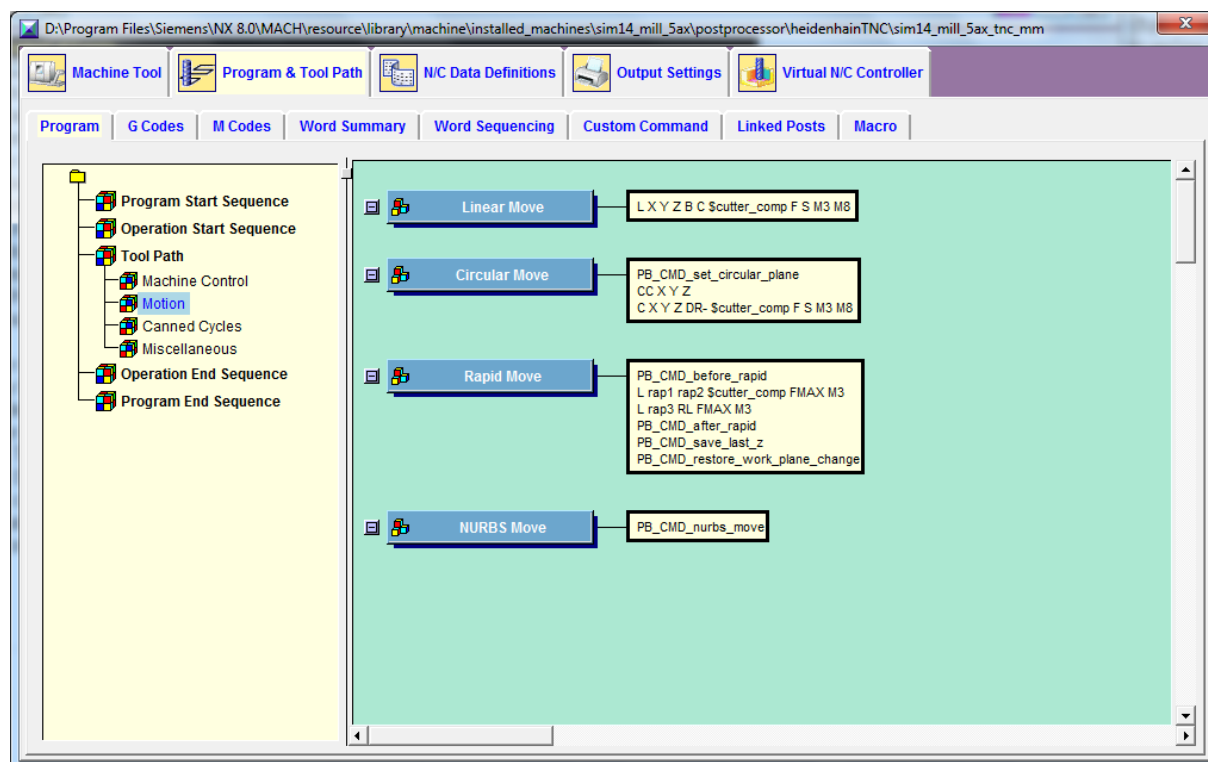
Vrste podataka, kao što su brzina vretena (S), smjer vrtnje vretena(M3,M4, odnosno CW i CCW u Heidenhainu), pokretanje rashladne tekućine(M8),

kompensacije duljine alata (L), broj alata (T) , bude definiran na početku operacije procesa obrade, prema literaturi [17].

U ovoj stavki nije potrebno ništa mijenjati, potrebno je samo obratiti pažnju da brzina okretaja vretena bude cijeli broj, i da pomoćne funkcije M3 i M8 ne budu u istom retku, jer upravljanje ne prihvaća program ukoliko se u istom retku nalaze dvije pomoćne funkcije.

Gibanja (Motion), slika 42.

Dijalog gibanja opisuje kako post procesor obrađuje GOTO zapise putanje alata. Sustav generira više vrsta gibanja nego što većina upravljačkih jedinki alatnih strojeva mogu razumjeti. Potez brzog hoda (G00, odnosno F MAX u Heidenhainu) obrađuje sva gibanja koje sustav generira kao nultu posmičnu brzinu. To uključuje povlačenje (retract), pristup (approach), odlazak (departure), povratak (return), brzo (rapid) i obuhvaćanje (traversal). Ako bilo koji od ovih vrsta gibanja imaju posmičnu brzinu nula, onda sustav koristi proces linearnog pomaka (L). Sustav se koristi linearnim pomakom za sve vrste rezanja (radni hod). To uključuje rezanje (cut), uključivanje (engage), prvi rez (first cut), prekoračenje (stepover) i bočni rez (side cut). Sva kružna gibanja upravljana su procesom Circle Move (CC). Imajte na umu da se narezivanje navoja sastoji od linearnog pomaka (na ulazu), samog narezivanja navoja (Lathe thread move), potez izvlačenja (linearno ili brzo, ovisno o posmičnoj brzini) i obuhvatni potez (linearni ili brzo ovisno o brzini posmičnoj brzini). Nekoliko korisnički definiranih pomaka (GOHOME i RETRACT) također stvaraju kretnje. Oni koriste Rapid Move (G00, odnosno F MAX), prema literaturi [17].



Slika 42.Prozor za definiranje gibanja alata [19]

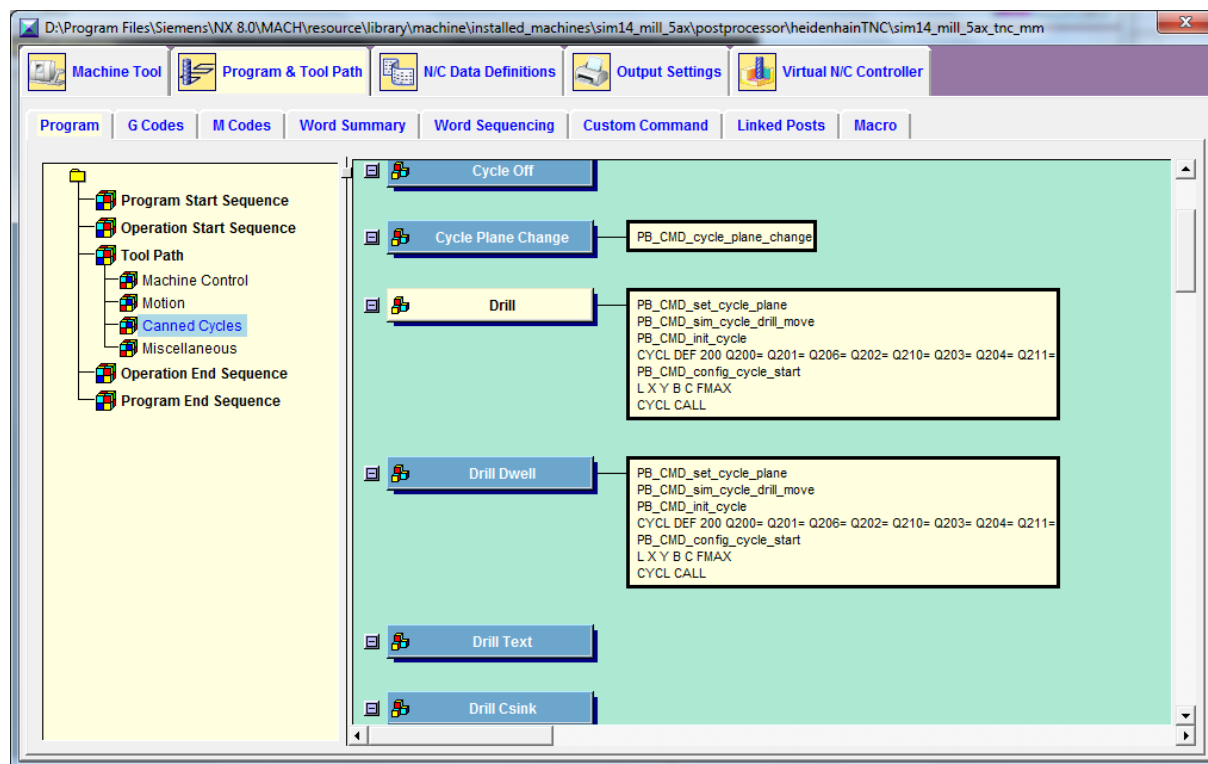
Motion naredbe sadrže kodove poput S, M03, M08, G41, G17, i D. Na taj način sustav reproducira ove kodove s gibanjem. Sustav reproducira ove kodove samo ako su nastupile promjene podataka ili su prisiljeni na poravnanje. Korisnički definirani događaj (COOLNT / FLOOD – M8) definira podatke za pokretanje rashladne tekućine. Ovaj događaj definiran je bilo prije početka rada ili u svom slijedu u naredbi "Start Post", ovisno o tome kako je proces naveden. Pokretanje rashladne tekućine potrebno je definirati u prvom G01 bloku prije nego što počnete rezanje. To je najpouzdaniji način, prema literaturi [17].

Ciklusi operacija (Canned Cycles), slika 43.

Ovaj parametar omogućava rukovoditelju određivanje zahtjevnih kodova za standardne cikluse bušenja, narezivanja navoja, centriranja, itd.

Od ciklusa za omogućavanje rada svih operacija putem post procesora dovoljni su ciklusi bušenja (CYCL DEF 200) i ciklus narezivanja navoja (CYCL DEF 207).

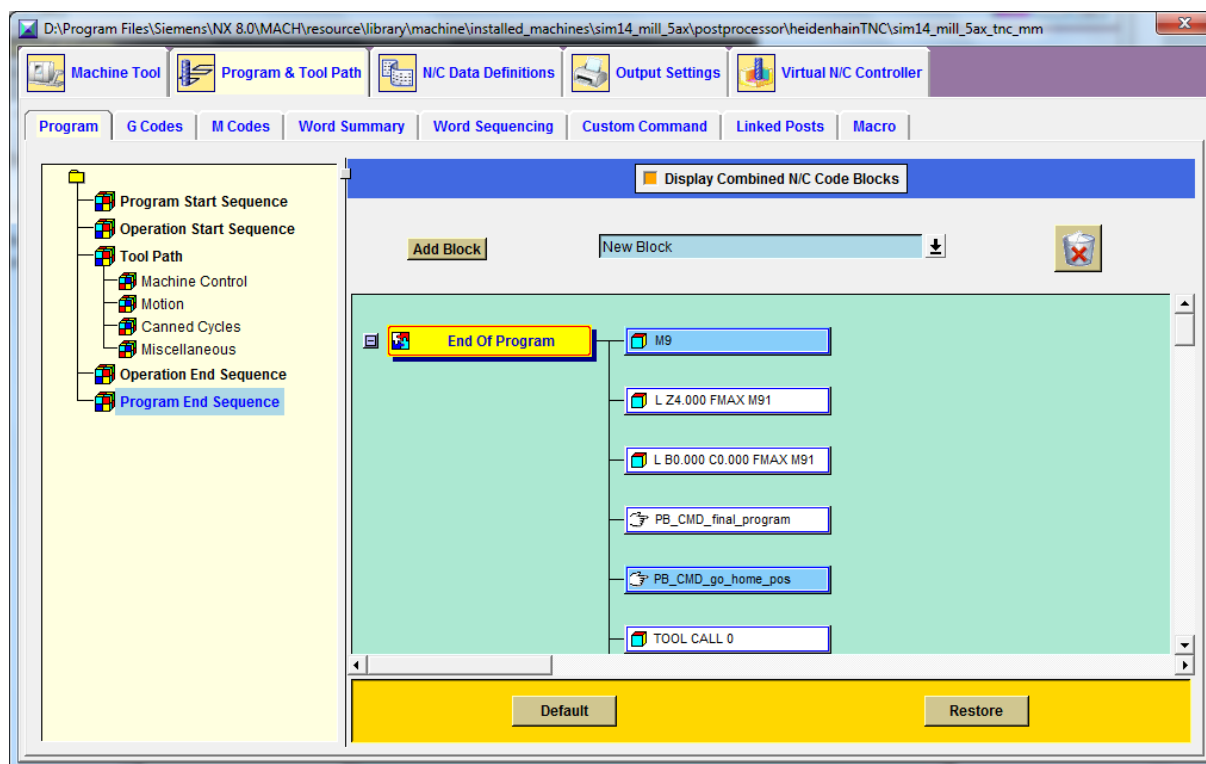
Oba ciklusa su već prethodno definirana u post procesoru, te se oni određuju u samom CAM sustavu prilikom programiranja, prema literaturi [19].



Slika 43. Prozor s definiranim ciklusi[19]

Završni slijed programa (Program End Sequence)

Ovdje je potrebno definirati gibanje alata na kraju programa.

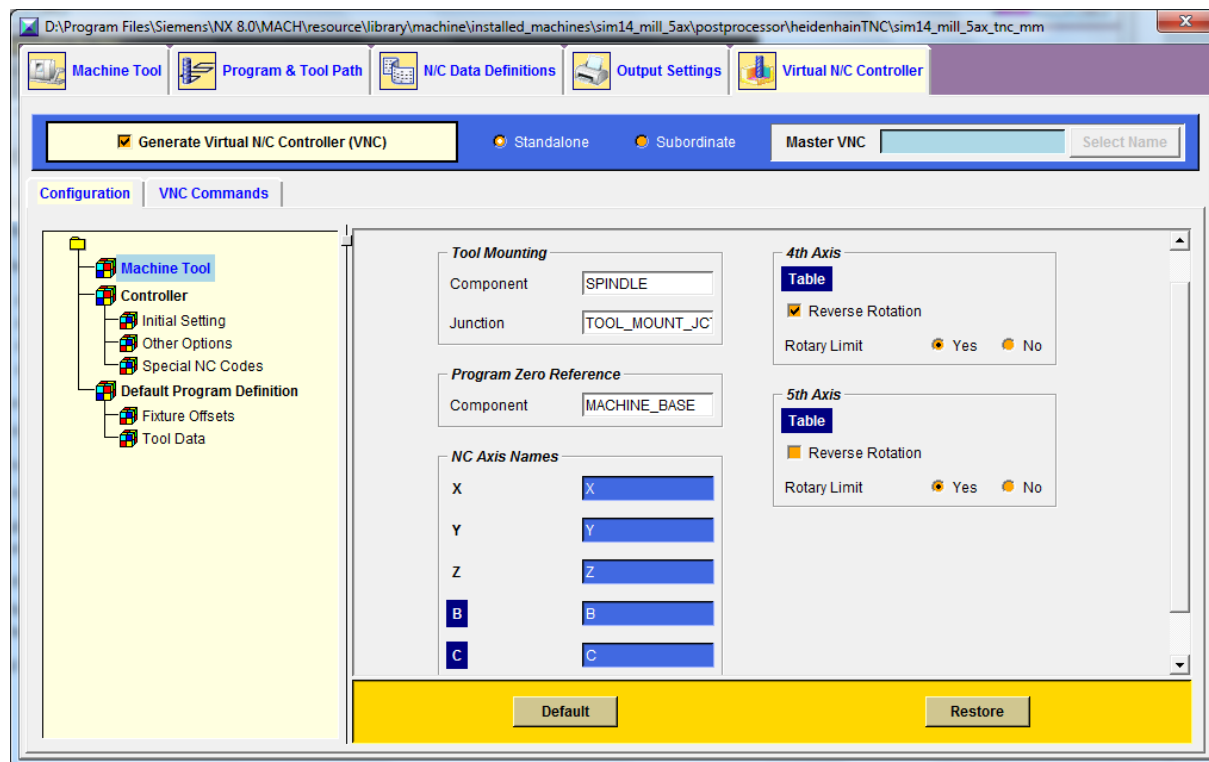


Slika 44. Prozor za definiranje funkcija na kraju programa [19]

Kao što je prikazano na slici 44. na kraju programa isključuje se reshladna tekućina(M9), vreteno se po Z osi povlači brzim hodom u pozitivnom smjeru (F MAX), a stol se vraća u početni položaj (B0 C0 F MAX) također brzim hodom.

Virtualan N/C kontroler (Virtual N/C Controller)

Virtualni kontroler je potreban ukoliko želimo koristiti CAM simulaciju alatnog stroja te na taj način provjeriti točnost, odnosno spriječiti sudar obratka i vretena ili stola i glave vretena kako ne bi došlo do havarije alatnog stroja. UGS NX 8.0 omogućava simulaciju obrade ukoliko uz post procesor imamo i virtualni NC kontroler. Zbog toga koristimo tu mogućnost i stavljamo kvačicu. Dobivamo četiri datoteke: .tcl,.pui,.def,.vnc.tcl., prema literaturi [19].

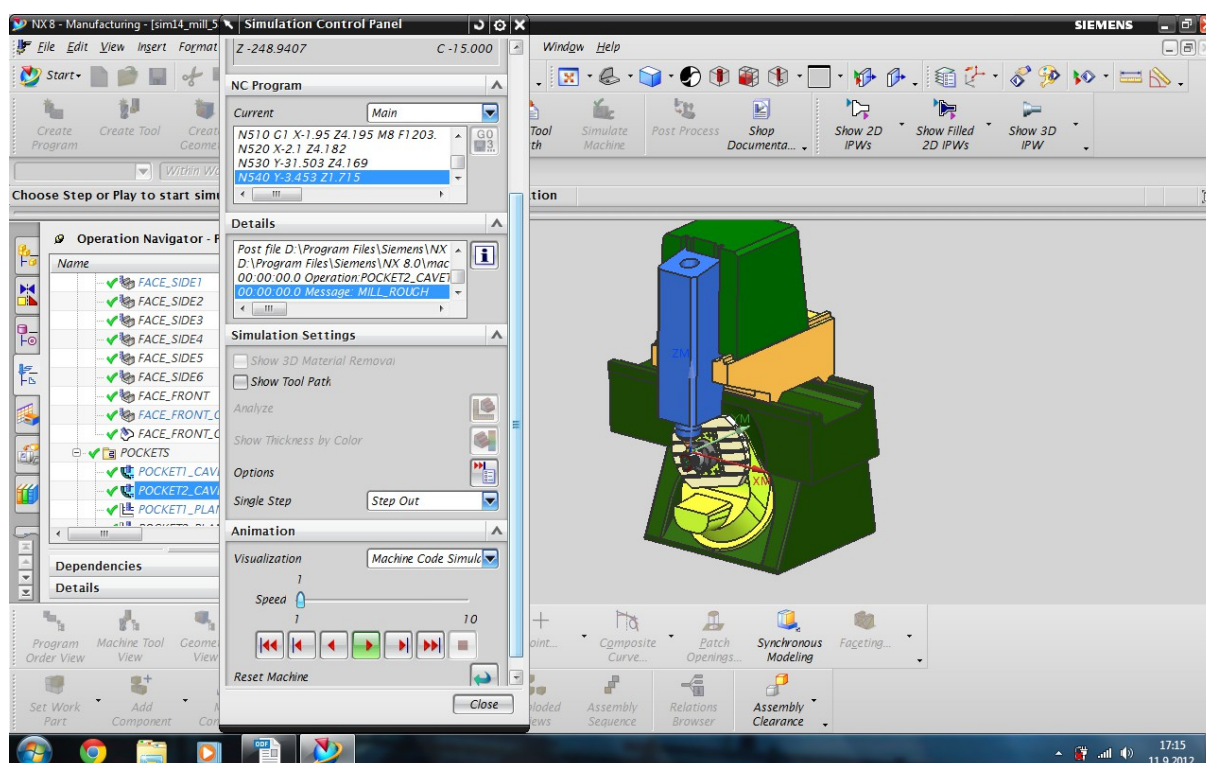


Slika 45. Prozor za definiranje virtualnog NC kontrolera [19]

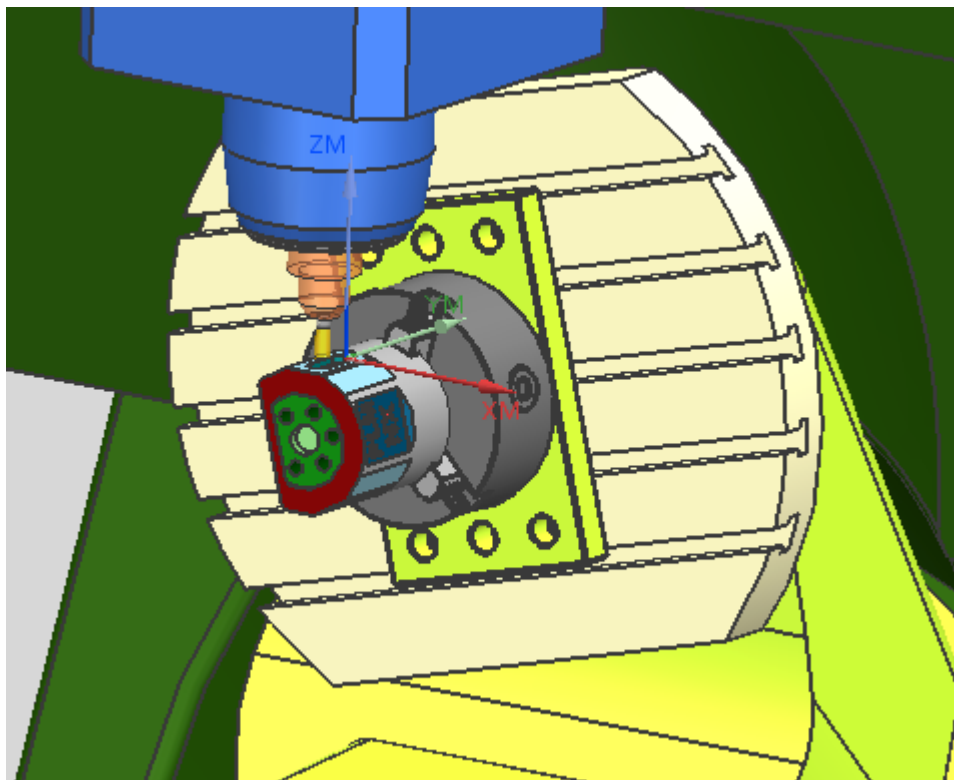
Potrebno je još definirati kinematiku virtualnog alatnog stroja koja mora biti potpuno jednaka stvarnom alatnom stroju, tako da virtualan alatni stroj može pratiti naredbne koje smo dobili putem post procesora. U ovom slučaju četvrtu rotacijsku os (4th axis) treba selektirati Reverse rotation, slika 45. Obavezno pri tom pripaziti da oznake svih osi NC alatnog stroja budu jednake i dobro definirane kao kod realnog NC alatnog stroja, prema literaturi [19].

6.1 Post procesor u primjeni

Post procesor koji je dobiven u prethodnim koracima moguće je koristiti u NX 8.0 CAD/CAM softveru, slika 46. Pomoću virtualnog kontrolera možemo simulirati operacije obrade na virtualnom alatnom stroju, slika 46., koji će pratiti naredbe dobivene generiranim putanjama alata koje smo obradili pomoću post procesora.



Slika 46. Slika ekrana sa simulacijom obrade u Siemens NX 8 CAD/CAM softveru



Slika 47. Slika s detaljnijmi prikazom simulacije glodanja džepa na obratku

Program koji dobivamo jednostavnim pozivom naredbe Post process unutar CAM express modula, koji se prebacuje u upravljanje, te je nakon toga spreman za korištenje.

Program koji se nalazi ispod sam osobno provjerio na upravljanju Heidenhain TNC426PB i alatnom stroju Deckel Maho DMU50V. Program je primjer izrade džepa kao što se može vidjeti na slici 47. Pošto se radi o višeosnom alatnom stroju u programu pod 18. retkom se može vidjeti da se, osim uz X,Y i Z koordinate, u program još javljaju i B i C koordinate koje su odgovorne za rotaciju stola kako bi vreteno odnosno alat mogao doći u zahvat s obratkom baš kako je to isprogramirano pomoću CAM sustava.


```
=====

Information listing created by : Marko
Date                          : 11.9.2012. 17:20:54
Current work part             : D:\Program Files\Siemens\NX
8.0\MACH\samples\nc_simulation_samples\sim14_mill_5ax_cam_sinumerik_mm
.prt
Node name                     : makina
=====

0 BEGIN PGM 100 MM
1 ; POSTPROCESSOR NAME
2 ;                                D:\PROGRAM                FILES\SIEMENS\NX
8.0\MACH\RESOURCE\LIBRARY\MACHINE\INSTALLED_MACHINES\SIM14_MILL_5AX\POSTPRO
CESSOR\HEIDENHAIN_TNC\SIM14_MILL_5AX_TNC_MM.TCL
3 BLK FORM 0.1 Z X0.000 Y0.000 Z-20.000
4 BLK FORM 0.2 X100.000 Y100.000 Z0.000
5 ;
6 ; OPERATION: POCKET2_CAVETYMILL - TOOL: T3 UGT0201_088
7 ;
=====

8 CYCL DEF 7.0
9 CYCL DEF 7.1 X -250.0000
10 CYCL DEF 7.2 Y -155.0000
11 CYCL DEF 7.3 Z -339.4470
12 TOOL DEF 3
13 TOOL CALL 3 Z S2228
14 L M117
15 M1
16 L M126
17 L M116
18 L B180.000 C-15.000 FMAX
19 M128
21 L X-24.194 Y-86.692 FMAX M3
22 L Z-15.900 FMAX
23 L X-14.359 Y-49.987 FMAX
24 L X-11.510 Y-50.489 F1203 M8
25 L X-11.362 Y-50.515
26 L X-11.358 Y-50.503 Z-16.050
27 L X-10.723 Y-48.132 Z-44.100
28 L X-14.684 Y-46.691
29 L X-14.365 Y-45.499 Z-30.000
30 L Z-16.050
31 CC X-14.220 Y-45.538
32 C X-14.220 Y-45.538 DR-
33 L X-10.454 Y-46.547 Z-15.900
34 CC X-10.454 Y-46.547
35 C X-10.309 Y-46.586 DR-
36 L Z-43.950
37 CC X-10.454 Y-46.547
38 C X-10.454 Y-46.547 DR-
39 L X-14.220 Y-45.538 Z-44.100
40 CC X-14.220 Y-45.538
41 C X-14.365 Y-45.499 DR-
42 L Z-30.000
43 L X-15.659 Y-50.329
```

```
44 L X-25.322 Y-86.390 FMAX
46 L X-25.182 Y-86.427 FMAX
47 L X-14.916 Y-48.112 FMAX
48 L X-13.622 Y-43.283
49 L Z-43.955
50 L X-9.845 Y-44.295
51 L Z-16.045
52 L X-13.622 Y-43.283
53 L Z-30.000
54 L X-14.916 Y-48.112
55 L X-14.312 Y-45.858 FMAX
56 L X-13.018 Y-41.029
57 L Z-43.955
58 L X-9.241 Y-42.041
59 L Z-16.045
60 L X-13.018 Y-41.029
61 L Z-30.000
62 L X-13.276 Y-41.995
63 L X-25.182 Y-86.427 FMAX
65 M129
66 M9
67 L Z400.000 FMAX M91
68 L B0.000 C0.000 FMAX M91
69 TOOL CALL 0
70 M30
71 END PGM 100 MM
```

7. ZAKLJUČAK

Od prvih izvedbi glodaćih alatnih strojeva do danas, postepenom evolucijom modula za gibanje, došlo se do mogućnosti ostvarivanja sve složenijih operacija obrade na njima. Moderni zahtjevi za fleksibilnošću, profitabilnošću, preciznijom obradom, skraćnim vremenima priprema i obrade obradaka na glodaćim obradnim centrima, dovelo je do pojave dodavanja dodatnih posmičnih rotacijskih osi i time su nastali višeosni glodači obradni centri. Ti zahtjevi se svakodnevno postepeno ispunjavaju, naprije dodavanjem automatske izmjene alata i automatske izmjene obradaka, kako bi se omogućio što autonomniji rad obradnih centara. Jedina prepreka jest trenutna cijena samih alatnih strojeva, kao i cijena samih CAD/CAM softvera, bez kojih je gotovo nemoguće programirati operacije obrade na tim višeosnim obradnim centrima.

U tom smislu je upravo tvrtka UGS napravila prvi iskorak svojim CAD/CAM softverom NX. Povećali su isplativosti svojih programa, dodavanjem mogućnosti samostalnog stvaranja postprocesora i virtualnih simulacija pomoću softwera Postbuilder što je prikazano u radu.

Naravno, uz tvrtku UGS koja je razvila CAM softver NX, tu se nalazi i konkurencija kao što su tvrtke za razvoj postprocesora ICAM, IMS, itd. koji za poveću cijenu mogu napraviti krojeni postprocesor koji se izrađje prema zahtjevima kupca. Na taj način moguće je koristiti i ostale CAM softverske sustave kao što su softveri Catia, CAMWorks, itd. Samim time se proširuje mogućnost korištenja više složenijih operacija obrade (u tam je segmentu najnaprednija CATIA) koje pojedini CAM proizvođači ne podržavaju.

Svi CAM softveri trenutno podržavaju višeosno programiranje operacija obrade za najviše pet stupnjeva slobode gibanja,tj. za peteroosne glodaće obradne centre. Zbog sve većeg broja višeosnih glodaćih obradnih centara prihvatljive cijene, za očekivati je skora pojava mogućnosti CAM programiranja alatnih strojeva sa šest i više osi.

8. LITERATURA

- [1] *Cebalo, R.; Ciglar D.; Stoić A.; Obradni sustavi, Fleksibilni obradni sustavi (drugo izmijenjeno izdanje), Vedograf, Zagreb 2005.*
- [2] <http://www.yadro.de/> Pristup: 6-2-2013
- [3] <http://www.sciencedirect.com/> Pristup: 6-2-2013
- [4] <http://www.ia.hiof.no/> Pristup : 6-2-2013
- [5] <http://www.mmsonline.com/articles/> Pristup: 16-12-2012
- [6] <http://int.haascnc.com/home.asp?intLanguageCode=1033> Pristup 19-1-2013
- [7] <http://books.google.hr/books>-Secrets of 5 axis machining Pristup:16-12-2012
- [8] <http://www.fiveaxismachining.com/> Pristup 6-12-2012
- [9] <http://www.hurco.com/en-us/machine-tools/machining-centers> Pristup:1-2-2013
- [10] <http://us.dmg.com/us,dmg,dmg-moriseiki-usa> Pristup 1-2-2013
- [11] <http://www.makino.com/> Pristup 1-2-2013
- [12] <http://www.moldmakingtechnology.com/> Pristup 8-12-2012
- [13] <http://www.mag-ias.com/en.html> Pristup 3-2-2013
- [14] <http://www.okuma.com/americas> Pristup 8-2-2013
- [15] <http://www.ims-software.com/index.jsp> Pristup 5-2-2013
- [16] http://www.icam.com/html/products/whatis/what_is_post.php Pristup 5-2-2013
- [17] Benautzer-Handbuch HEIDENHAIN-klartext-dialog, TNC 426B TNC430, Njemačka 1999.
- [18] <http://www.heidenhain.de> Pristup 2-2-2013
- [19] Siemens NX 8.0 documentation
- [20] <http://www.directindustry.com> Pristup 14-2-2013